

## Documento del Banco Mundial

# CHILE

## Estudio para el fortalecimiento de los procesos de planeación y de priorización para el desarrollo de infraestructura hidráulica



30 de septiembre de 2013

Unidad de Medio Ambiente y Agua  
Departamento de Desarrollo Sostenible  
Región para América Latina y el Caribe

## LISTA DE ABREVIATURAS

BM	Banco Mundial
CIREN	Centro de Información de Recursos Naturales
CA	Código de Aguas de 1981
CMS	Consejo de Ministros para la Sustentabilidad
CNR	Comisión Nacional de Riego
CPA	Catastro Público de Aguas
DAA	Derechos de Aprovechamiento de Aguas
DDU	División de Desarrollo Urbano
DGA	Dirección General de Aguas
DIRPLAN	Dirección de Planeamiento (MOP)
DMC	Dirección Meteorológica de Chile
DSUP	Demandas Superficiales
DSUB	Demandas Subterráneas
DOH	Dirección de Obras Hidráulicas
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
GRH	Gestión de Recursos Hídricos
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
GdC	Gobierno de Chile
GORE	Gobierno Regional
INH	Instituto Nacional de Hidráulica de Chile
JdV	Juntas de Vigilancia
MH	Ministerio de Hacienda
MINMA o MMA	Ministerio de Medio Ambiente
MINSAL	Ministerio de Salud
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo
MOP	Ministerio de Obras Públicas
MDS	Ministerio de Desarrollo Social
ONG	Organizaciones No Gubernamentales
OUA	Organización de Usuarios de Aguas
RRHH	Recursos Hídricos
SAG	Servicio Agrícola y Ganadero
SEA	Servicio de Evaluación Ambiental
SEC	Superintendencia de Electricidad y Combustibles
SEIA	Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental
SEREMI	Secretarías Regionales Ministeriales
SERNAGEOMIN	Servicio Nacional de Geología y Minería
SERVIU	Servicio de Vivienda y Urbanismo
SNI	Sistema Nacional de Inversiones
SISS	Superintendencia de Servicios Sanitarios
SMA	Superintendencia del Medio Ambiente

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1 RESUMEN EJECUTIVO .....</b>	<b>5</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
2.1 EL CONTEXTO DE CHILE .....	9
2.2 LOS PROCESOS DE PLANEACIÓN Y DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA EN CHILE Y PROBLEMÁTICA GENERAL .....	11
2.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO .....	12
<b>3 EL PROCESO DE PLANEACIÓN Y DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN CHILE.....</b>	<b>14</b>
3.1 ACTORES INVOLUCRADOS Y METODOLOGÍA PARA EL DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE PLANEACIÓN Y DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN CHILE .....	14
3.2 PROCESOS DE PLANEACIÓN EXISTENTES .....	17
3.2.1: La planeación a mediano y largo plazo .....	17
3.2.2: La planeación a corto plazo (anual).....	22
3.2.3: Procesos para la preparación de proyectos para el desarrollo de Obras de Infraestructura Hidráulica.....	27
3.3 MECANISMOS DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA .....	44
3.4 PROBLEMAS IDENTIFICADOS EN EL PROCESO DE PLANEACIÓN .....	46
<b>4 MEJORES PRÁCTICAS INTERNACIONALES EN PROCESOS DE PLANEACIÓN Y DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA.....</b>	<b>52</b>
<b>5 UN CASO DE ESTUDIO: CUENCAS LA LIGUA Y PETORCA .....</b>	<b>55</b>
5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CUENCAS LIGUA Y PETORCA .....	55
5.2 BALANCE HÍDRICO EN LAS CUENCAS LA LIGUA Y PETORCA .....	60
5.3 INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN LAS CUENCAS LIGUA Y PETORCA .....	70
5.4 PLANEACIÓN DE EN LAS CUENCAS LIGUA Y PETORCA CON AYUDA DE HERRAMIENTAS DE MODELACIÓN .....	73

<b>6 RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE PLANEACIÓN Y DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN CHILE, EXPERIENCIAS DEL PILOTO.....</b>	<b>85</b>
<b>7 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA .....</b>	<b>88</b>
7.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	88
7.2 METODOLOGÍA MULTICRITERIO.....	91
<b>8 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO .....</b>	<b>95</b>
<b>9 REFERENCIAS.....</b>	<b>98</b>

## **1 RESUMEN EJECUTIVO**

El Gobierno de Chile (GdC), a través del Ministerio de Obras Públicas (MOP) ha trabajado en forma continua en el diseño e implementación de acciones para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos en Chile. Como parte de estas acciones, en 2013, el GdC ha solicitado al Banco Mundial el apoyo para el fortalecimiento de los procesos de planeación y de priorización de infraestructura hidráulica, enfocado en el diseño de metodologías para realizar la priorización de las inversiones en el sector en forma más eficiente. A tal efecto se ha realizado una colaboración técnica al proceso de revisión de las metodologías y procesos de toma de decisiones en infraestructura hidráulica, identificado áreas de mejora que permitan tomar las decisiones de inversión utilizando metodologías estándar y repetibles en los distintos ámbitos y principalmente considerar las necesidades de sectores distintos que compiten por los recursos sobre la base de una evaluación más rigurosa de los impactos de los proyectos y de las preferencias de los tomadores de decisión y de los beneficiarios.. Dicha metodología aborda el problema de tomar decisiones a nivel nacional, regional y de cuenca atendiendo las demandas de tres sectores principales como son el riego, el manejo de cauces y la evacuación de aguas-lluvia. La metodología conceptual propuesta debe cumplir la condición de ser simple y replicable en todos los ámbitos del país en los que se toman decisiones con proyectos que tienen niveles de información muy variados, resolviendo el problema de comparar inversiones de distinta naturaleza. A su vez la metodología propuesta incorpora el estado del arte a nivel internacional en análisis de decisión multicriterio y el uso de sistemas de simulación hidrológica que permitan cuantificar el valor de indicadores de desempeño de los proyectos ya sea individualmente o bien en forma agregada en el ámbito de la cuenca que representa la unidad básica de gestión y decisión.

El presente reporte informa los avances logrados entre diciembre de 2012 y septiembre de 2013 periodo en el cual ha habido un avance consistente en el relevamiento de los procesos, conceptualización de la metodología a utilizar en la priorización y en el estudio de un caso de aplicación en una cuenca específica (La Ligua-Petorca) basados en los aportes de expertos de la DOH, de la Universidad de Chile y de expertos internacionales. Los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología en términos de un Plan de inversiones serán motivo de un informe posterior.

El GdC cuenta con un sistema de priorización caracterizado por tres tipos de planes a los cuales proyectos hidráulicos pueden ser asignados. Los tres niveles, en orden de prioridad, son El Plan Director, el Plan Regional, y los Planes Especiales que tratan proyectos nacionales, regionales, y locales respectivamente. El presente estudio determinó la necesidad de articular mejor la toma de decisiones en inversiones con el proceso de planificación hidrológica instancia en la cual se establecen las acciones necesarias para atender y coordinar dar respuesta a las demandas de los distintos sectores en un contexto de tiempo de recursos financieros limitados. El desarrollo incipiente de la planificación hídrica integral, que realiza la DGA, en Chile ha impedido contar con la información y los análisis necesarios que sustentan la identificación de los proyectos que mejor responden y coordinan las demandas y usos de agua, servicios e infraestructura requeridos por los distintos planes sectoriales. La ausencia de un proceso de planificación del agua a distintos niveles, empezando en la cuenca, que evalúe escenarios de desarrollo, estableciendo déficits actuales y futuros, y que identifique proyectos para cada sector que permiten lograr los objetivos de desarrollo ha impedido que el sistema de priorización actual refleje adecuadamente las necesidades de los sectores que compiten por los recursos hídricos en forma eficiente. Algunas de las áreas de mejora que se identificaron como parte del estudio, para este proceso de planeación son:

1. La coordinación en el ejercicio de las funciones referentes al estudio y proyección de obras de riego entre las varias entidades gubernamentales, principalmente entre la CNR, la DGA y la DOH
2. Fortalecimiento de la capacidad técnica a nivel central (DOH, Dirplan, Depla y DGA principalmente) y particularmente a nivel local (SEREMIS, GORES, etc.).
3. Desarrollar un sistema de planeación regional mucho más sólido técnicamente, soportado por metodologías estándar y por estudios técnicos más rigurosos que puedan ordenar mejor las solicitudes de los distintos sectores en la región.
4. Fortalecimiento de la Dirección de Planeamiento (Dirplan) como entidad responsable de la planeación de infraestructura a nivel nacional capaz de dictar, fiscalizar, y establecer normas y procedimientos con respeto a los procesos de planeación.
5. Mejorar la inversión en generación de información actualizada, confiable y disponible sobre la situación del territorio a nivel local y regional.
6. Reactivar el funcionamiento del Consejo de Planeación de Recursos Hídricos al interior del MOP que debe integrar los estudios y planes que desarrollan la DGA, DIRPLAN y DOH y articular los estudios sectoriales y planes estratégicos de otros ministerios y agencias (CNR, Ministerio de Agricultura, SISS, Ministerio del Ambiente, Gobiernos Regionales, entre otros).

El análisis de los procesos de planeación actuales, se completó y validó en un caso piloto en las cuencas de los ríos La Ligua y Petorca lo que permitió identificar recomendaciones aplicables para el GdCh fundadas en un caso práctico. La Cuenca Ligua Petorca, sufre un problema serio de sobre explotación de las aguas superficiales y subterráneas, debido al incremento del uso del recurso hídrico para fines agrícolas, comerciales, y para la industria minera.

Los estudios realizados tomaron en consideración la información disponible por parte del GdC usando datos sobre las estaciones fluviométricas, caudales, ubicación de cuencas, usos de recursos, y la actualización de la superficie bajo cultivo. El presente estudio logró producir esquemas conceptuales de balance realizados en La Ligua y Petorca, escenarios de análisis de las demandas consideradas en el balance, y estimaciones de precipitación, escurrimiento, y evapotranspiración.

A través de la modelación realizada en las Cuencas Ligua y Petorca, se demostró que existe un déficit hídrico importante en distintos escenarios hidrológicos y que en consecuencia se deben profundizar muy en detalle los estudios de viabilidad de los cuatro embalses propuestos en ese sistema. Este estudio piloto demuestra la importancia de contar con un sistema de simulación hidrológica y de información en cantidad y calidad suficientes para poder establecer el impacto de la infraestructura hidráulica. La metodología para la planeación y priorización de proyectos de infraestructura propuesta en el presente estudio, toma en cuenta estas limitaciones y propone un esquema general que podría ser empleado en diversas cuencas con información limitada cumpliendo la siguientes premisas: a) que sea operacional para un funcionamiento a diferentes escalas: cuenca, regional, o a nivel nacional, b) que incluya un proceso de 2 etapas: i) una etapa de priorización sectorial (los proyectos de cada producto estratégico de la DOH siendo priorizados de manera separada con indicadores específicos a cada producto) y ii) una etapa de priorización multisectorial con priorización de los proyectos de los 3 productos estratégicos, de manera conjunta (con indicadores comunes en las dimensiones económicas, sociales y ambientales), c) que sea capaz de analizar proyectos con distintos niveles de estudios y d) que tenga la máxima coherencia y compatibilidad con los procesos de planeación del MOP a nivel regional y nacional

La metodología propuesta en este reporte se basa en un Análisis Multicriterio y en un Proceso Analítico Jerárquico, incorporado al Análisis Multicriterio, metodologías sobre las cuales existe conocimiento y experiencia local. Los lineamientos de la metodología se presentan en la sección 7.1.

La estructura de la metodología se propone en las figuras 7.1 y 7.2 en las que se muestra el proceso de planeación en dos etapas, primero, realizando una priorización dentro de cada una de las carteras de proyectos y segundo, realizando una priorización global entre proyectos de distinta naturaleza.

Adicionalmente, este estudio propone algunos de los indicadores para la evaluación de estos proyectos en el Anexo 9. Sin embargo, estos indicadores y sus pesos aún necesitan ser validados por un grupo de planeación que se está constituyendo al interior del MOP. Con esta información, en una etapa siguiente, la Universidad de Chile definirá la estructura detallada de la metodología a seguir, los indicadores y sus pesos correspondientes.

Finalmente, el presente estudio concluye que si bien, la propuesta, el desarrollo y la aplicación de una metodología para la priorización de proyectos de infraestructura es una parte importante en la mejora del proceso de planeación de inversiones, es necesario atender otros aspectos fundamentales en respuesta a los retos que han sido identificados en el presente estudio, cómo son: la mejora de las capacidades institucionales, el establecimiento de un proceso claro de planeación por cuenca, la definición y delimitación de las responsabilidades de las instituciones que intervienen en el proceso de planeación y la mejora en la información de campo vinculada a la gestión de los recursos hídricos, entre otras.

Para lograr esto, una estrategia integral de mejora del sistema de planeación hidrológica en Chile sería una herramienta importante para mejorar la eficiencia y calidad de la inversión pública.



## 2 INTRODUCCIÓN

### 2.1 El contexto de Chile

1. Chile ocupa una estrecha franja de tierra de 4,200 km de longitud con un ancho medio de 180 km, ubicada entre la Cordillera de los Andes y el Océano Pacífico. Este rico y a su vez complejo territorio está surcado por más de 200 ríos y esteros que drenan la cordillera de Los Andes hacia el océano Pacífico. Esta geografía única provee una extraordinaria variedad de condiciones climáticas y de disponibilidad de recursos hídricos a lo largo de las cuencas del país.

2. La escorrentía media total en el país equivale a 53.000m<sup>3</sup>/persona/año (Banco Mundial, 2011). Sin embargo, esta media no representa la situación real del país, ya que las diferencias climáticas hacen que, en la mitad norte del país se perciban condiciones áridas, con una disponibilidad media de agua per cápita menor a 800m<sup>3</sup> por persona al año, mientras que, del centro hacia el sur del país, la disponibilidad media per cápita oscila de 10.000m<sup>3</sup> a más de 170,000 m<sup>3</sup>al año (IANAS, 2012). Como en muchos otros países, el sector agrícola es el principal usuario de agua, con extracciones de alrededor del 73%, la minería y los usos industriales comparten el 21% y el sector sanitario el 6% restante (Banco Mundial, 2011). El nivel de competencia entre estos usos varía a lo largo del país. Es particularmente aguda en las áreas norte y central, donde desde mediados del siglo XX la mayoría del agua superficial ya ha sido asignada (Peña, 2009).La hidroelectricidad es el mayor uso no consuntivo, con caudal equivalente en derechos de aprovechamiento de 4190 m<sup>3</sup>/s/año (Ayala, 2010, IANAS, 2012)

3. Durante las tres últimas décadas la presión sobre los recursos existentes se ha intensificado significativamente, principalmente debido a la demanda asociada a la estrategia de desarrollo económica del país, basada en un conjunto de productos que dependen del recurso hídrico para su producción (cobre, fruticultura, vino, celulosa, salmonicultura) y al incremento poblacional, originando situaciones de conflicto en algunos casos (Dourojeanni y Jouravlev, 1999 y Peña et al., 2004). A futuro, se estima que las presiones por agua, por parte de los principales usuarios aumenten. Tan sólo en el sector minero, se estima un crecimiento del 45% en la demanda de agua para el año 2020 (COCHILCO, 2009) y de un 200% en los próximos 25 años (MOP, 2013).

4. Adicionalmente al aumento en la demanda, la disminución de la calidad de las fuentes de abastecimiento, el incremento en la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos más frecuentes, impactan la situación de la oferta de agua (ANDESS, 2012).

5. El Panel Internacional de Cambio Climático en su Cuarto Informe de Evaluación en 2007 anunciaba que los cambios en el clima en la región podrían producir en Chile impactos relevantes en varias actividades y sectores (IPCC, 2007). La gran mayoría de los impactos identificados afectan hoy la disponibilidad y uso de los recursos hídricos. El estudio de la evolución reciente del clima muestra claramente reducciones de la masa de los glaciares, un aumento de las temperaturas y una exacerbación de eventos extremos de inundaciones y principalmente de sequías. La gran sequía que está afectando Chile ha puesto en evidencia la urgente necesidad de fortalecer la capacidad de la autoridad del agua de evaluar y monitorear las disponibilidades, extracciones y consumos de agua. Se debe dotar al sistema hídrico de infraestructuras y herramientas de gestión para regular mejor los flujos superficiales y subterráneos y principalmente disponer de políticas e instituciones que permitan evaluar mejorar los efectos que ciertas actividades pueden tener sobre el ciclo hidrológico para poder desarrollar medidas más efectivas de adaptación al cambio climático.

6. El marco legal de sector del agua en Chile está determinado por la Constitución aprobada en 1980 y el Código de Aguas promulgado en 1981. Dicho código se apoya en un sistema de derechos de aprovechamiento del agua muy sólidos, en una regulación por parte del Estado muy limitada y en un fuerte rol del poder judicial como ámbito para resolución de disputas y para el cumplimiento de las decisiones de gestión. En este marco el Estado tenía la responsabilidad y obligación de asignar los recursos hídricos otorgándolos a privados en la forma de derechos de aprovechamiento del agua (DAA) en forma gratuita y permanente, y sin ningún límite en la cantidad demandada una vez comprobada la disponibilidad de recursos. Una de las características principales del sistema instituido en 1981 ha sido la libre transferencia de DAA estableciéndose los mercados de aguas como instrumento de promoción de la reasignación del agua a usos de mayor valor.

7. La seguridad jurídica dada al mecanismo de asignación y ejercicio de los derechos de agua instituido por el Código de Aguas, en asociación con una política económica estable y ortodoxa, regulaciones que incentivan la participación del rol privado en el desarrollo de servicios de agua y electricidad y una política sostenida de subsidios de apoyo a la modernización del riego (ley 18.450) han fomentado las inversiones relacionadas con el sector y una notable expansión del área regada con sistemas de alta eficiencia. En este contexto favorable, la creación de los DAA no consuntivos permitió el desarrollo de proyectos de inversión en generación hidroeléctrica, pero también dio lugar a una importante proliferación de solicitudes de DAA no consuntivos por parte de inversores del sector eléctrico de carácter especulativo interesados en fortalecer su posición en el mercado eléctrico nacional y su capacidad de generación hidroeléctrica.

8. Sin perjuicio de las normas del Código de Aguas se dictaron normas de tipo social y ambiental vinculadas al agua (Ley 19.253 sobre Protección, Fomento y Desarrollo de los Indígenas y expansión de los beneficios de la ley 18450 a la agricultura campesina con apoyo de Indap). Se dicta también la Ley de Bases del Medio Ambiente 19.300/94, que tuvo un impacto fundamental en la actividad de la DGA en la protección de flujos y caudales mínimos. En lo que refiere a servicios de agua potable y saneamiento, se crean subsidios en función de ingresos, a fines de solventar la situación de grupos carenciados. Estos subsidios no hubieran podido ser efectivos sin el fuerte proceso de desarrollo económico del país, del cual el agua es un motor, y sin la institucionalidad general que permite que los mismos lleguen efectivamente a los necesitados.

9.

10. Para lograr un aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos y la provisión de servicios en el ámbito hidráulico, el desarrollo de infraestructura hidráulica adecuada juega un papel fundamental. El desarrollo de estos proyectos, para atender oportunamente a las necesidades de los diversos actores de la sociedad debe realizarse mediante una metodología transparente, participativa y clara que permita la adecuada planeación de la infraestructura hidráulica con el uso más eficiente de los recursos financieros disponibles.

11. En este sentido, el tema de los procesos de planeación y priorización de infraestructura hidráulica juega un papel clave que debe ser definido sólidamente para permitir una ejecución eficiente y efectiva de los recursos financieros. En Chile, estos procesos ya se encuentran establecidos y los mecanismos de inversión cuentan ya con una estructura y ordenamiento claro. Sin embargo, todavía pueden ser mejorados a partir de una implementación más rigurosa y sólida de los procesos de planeación hídrica en los distintos niveles (cuenca, región, nacional) que permita dar los elementos y criterios a utilizar luego en la implementación de los mecanismos de priorización de proyectos de infraestructura hidráulica.

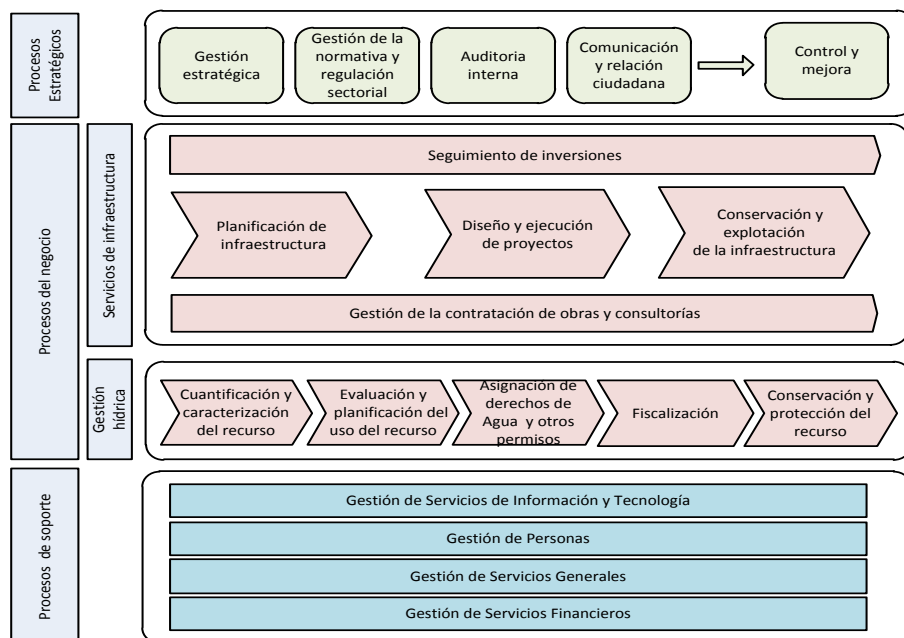
## **2.2 Los procesos de planeación y desarrollo de infraestructura en Chile y problemática general.**

12. En Chile, la entidad pública responsable de la planeación y estructuración de las inversiones en infraestructura civil es el Ministerio de Obras Públicas (MOP). La misión del MOP es: “Recuperar, fortalecer y avanzar en la provisión y gestión de obras y servicios de infraestructura para la conectividad, la protección del territorio y las personas, la edificación pública y el aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos; asegurando la provisión y cuidado de los recursos hídricos y del medio ambiente, para contribuir en el desarrollo económico, social y cultural, promoviendo la equidad, calidad de vida e igualdad de oportunidades de las personas”<sup>1</sup>.

13. El sistema de planificación de inversiones del Ministerio de Obras Públicas se constituye del Plan Director, los Planes Regionales y los Planes Especiales. Estos entregan como resultado la identificación de los proyectos de infraestructura y los servicios MOP estratégicos desde el punto de vista nacional/regional/local, es decir, aquellos proyectos claves para la realización de los objetivos de largo plazo que se ha definido el Plan. El Ministerio desarrolla su tarea de planeación y toma de decisiones de acuerdo al esquema de la Figura 2.1.

---

<sup>1</sup> Sitio Web del Ministerio de Obras Públicas, [www.mop.cl](http://www.mop.cl)



**Figura 2.1.** Mapa de Procesos MOP. Fuente: “Guía para la elaboración de planes”, Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas, Marzo 2011.

14. La jerarquía de planes determina también la jerarquía de los proyectos que los conforman. De esta forma, la definición de la infraestructura estratégica a nivel nacional pasa a ser un insumo para la planificación a nivel regional, por lo que la cartera de proyectos identificada en el Plan Director debe constituir la situación base del Plan Regional.

15. Si bien el MOP cuenta esta estructura de planeación a nivel global, para todos los sectores, transporte, agua y edificación pública, aún no existen lineamientos de planeación y de priorización de proyectos para cada uno de los sectores, en particular en el tema del agua. En este sector, aún falta claridad en la definición de los mecanismos para estructurar la planeación entorno a la disponibilidad del recurso hídrico y en base a las necesidades de los distintos actores de la cuenca. Falta también claridad en los mecanismos, metodología y procesos empleados para priorizar las obras de infraestructura hidráulica.

### 2.3 Objetivo del estudio

16. El objetivo del presente estudio es el de asistir al GdC y en particular a la Dirección General Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) mediante la emisión de recomendaciones, asesoría técnica y apoyo en el desarrollo de una metodología de apoyo a la toma de

decisiones en la planeación y priorización de infraestructura hidráulica, tomando como ejercicio piloto las cuencas Ligua y Petorca.

17. En particular, para alcanzar los objetivos descritos, el estudio se ha ejecutado en cuatro grandes etapas: (i) la revisión de los procesos de planeación y de priorización de proyectos de infraestructura hidráulica existentes, (ii) la propuesta de una metodología, indicadores, y estructura de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la planeación de infraestructura hidráulica en la cuenca Ligua-Petorca, (iii) la revisión y actualización del diagnóstico de la situación de los recursos hídricos en la cuenca Ligua-Petorca y (iv) el análisis de los requerimientos necesarios para la implementación de la metodología en la cuenca Ligua-Petorca.

18. El trabajo desarrollado entre diciembre del 2012 y septiembre de 2013 tiene como base los insumos del estudio de Diagnóstico para el Fortalecimiento de la Planeación y Priorización de Acciones de Infraestructura Hidráulica realizado por la Universidad de Chile e insumos de un equipo de consultores internacionales.

19. Con el objetivo de reflexionar y estructurar la metodología de planeación y priorización más conveniente, se celebró el 21 de mayo del 2013, el Taller de Trabajo: Mecanismos de Priorización. En este taller se contó con la participación del Dr. Baris Yilmaz (Turquía) y el Dr. David Yates (USA). La contribución de estos expertos se encuentra en el Anexo 10.

20. Los autores agradecen la excelente cooperación recibida de las autoridades chilenas, en particular el apoyo de la Ministra de Obras Públicas Loreto Silva Rojas y al equipo de la Dirección General Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (MOP) bajo la conducción de Mariana Concha Mattiensen y de Arnaldo Recabarren con la participación de Eduardo del Piano y Juan Alberto González. Es necesario destacar también la colaboración prestada por la Dirección de Presupuesto del Ministerio de Hacienda en la persona de José Pablo Gómez Meza que asesoró en cuanto al alcance del estudio.

21. En el presente informe se presentan los resultados obtenidos durante la realización del estudio y presenta la metodología general para la priorización de obras de infraestructura hidráulica que se encuentra actualmente en desarrollo por parte del equipo de consultores de la Universidad de Chile.

### **3 EL PROCESO DE PLANEACIÓN Y DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN CHILE**

#### **3.1 Actores involucrados y metodología para el diagnóstico del proceso de planeación y de priorización de proyectos de infraestructura hidráulica en Chile**

22. Como se describió anteriormente, una de las tareas claves del MOP es la planeación de la infraestructura hidráulica para su posterior ejecución, operación y mantenimiento a través de los usuarios o concesionarios. Dentro del MOP, la Dirección de Planeamiento (DIRPLAN) del Ministerio de Obras Públicas, en coordinación con las diferentes direcciones sectoriales y territoriales del Ministerio, y en concordancia con los lineamientos estratégicos de la autoridad, es la encargada de la planificación, la definición de políticas, la coordinación general y la priorización de planes de estudios, proyectos y ejecución de las obras que son responsabilidad del MOP. Los procesos de planeación existentes en el MOP se clasifican en largo/mediano plazo y corto plazo.

23. En lo que se refiere al desarrollo de la infraestructura hidráulica, la tarea de su planeación y priorización a nivel de sector recae sobre la DOH, a nivel central y a nivel regional, apoyándose en la DIRPLAN para la definición de los mecanismos de planeación y priorización. La Dirección de Obras Hidráulicas del MOP tiene por misión proveer de servicios de Infraestructura Hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y la protección del territorio y de las personas, mediante un equipo de trabajo competente, con eficiencia en el uso de los recursos y la participación de la ciudadanía en las distintas etapas de los proyectos, para contribuir al desarrollo sustentable del País.

24. Las funciones de la DOH son:

- Estudio, proyección, construcción, reparación y explotación de obras de riego que se realicen con fondos fiscales, de acuerdo a las disposiciones del DFL N° 1.123/81, que fija los procedimientos necesarios para la construcción de obras de riego.
- Las obras de saneamiento y recuperación de terrenos que se ejecuten con fondos fiscales.
- El estudio, proyección, construcción y reparación del abovedamiento de los canales de regadío que corren por los sectores urbanos de las poblaciones, siempre que dichos canales hayan estado en uso con anterioridad a la fecha en que la zona por donde atraviesan haya sido declarada como comprendida dentro del radio urbano y que dichas obras se construyan con fondos fiscales o

aportes de las respectivas Municipalidades. Estos aportes se convendrán entre el Ministerio de Obras Públicas y Las Municipalidades.

- Proponer la condonación total o parcial de las deudas por saneamiento o recuperación de terrenos de indígenas, la que deberá concederse por Decreto Supremo fundado.
- . La planificación, estudio, proyección, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de sistemas de evacuación y drenajes de aguas lluvias.
- Desarrollo de los Planes Maestros, que permitirán definir lo que constituye la red primaria de sistemas de evacuación de aguas lluvias. Dichos Planes serán firmados por los Ministerios de Obras Públicas y Vivienda y Urbanismo.

25. Para abordar los objetivos planteados anteriormente, la DOH debe atender las demandas de infraestructura de cuatro sectores estratégicos. a saber:

- infraestructura hidráulica de riego.
- infraestructura hidráulica de evacuación de drenaje y aguas lluvias.
- infraestructura hidráulica de control aluvional y de manejo de cauces.
- infraestructura hidráulica de agua potable rural en localidades concentradas y semiconcentradas<sup>2</sup>.

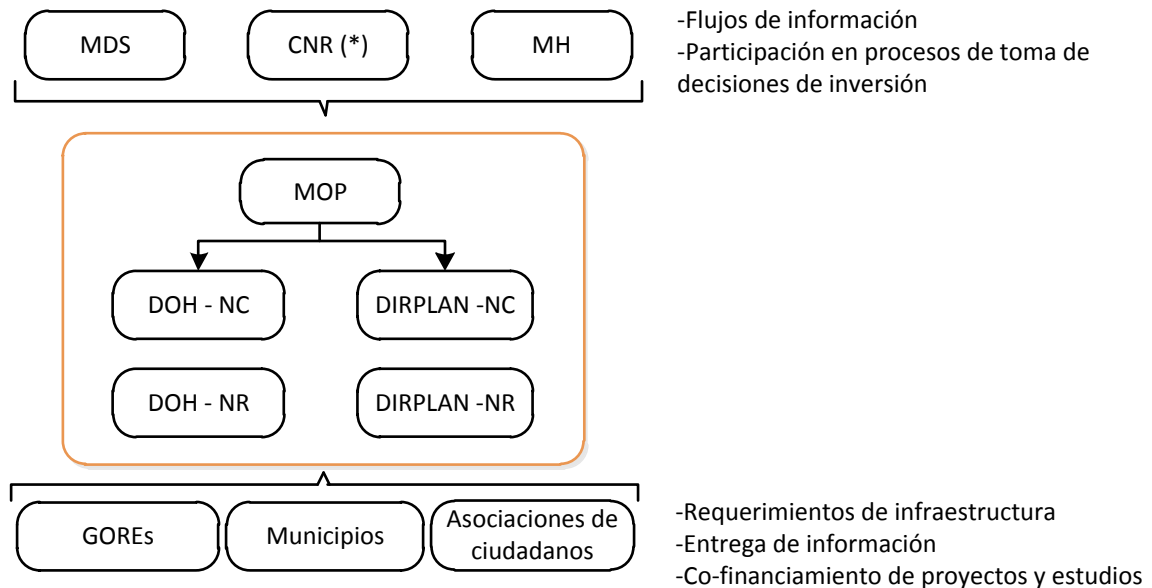
26. Administrativamente, la organización de la DOH refleja los cuatro tipos de infraestructura o productos estratégicos que debe desarrollar y la organización territorial del país. Dentro de la DOH se tiene una División de Riego, una División de Cauces y Drenaje Urbano, y una Subdirección de Agua Potable Rural (APR), además de una Subdirección de Gestión y Desarrollo. En cada una de las 15 regiones la DOH dispone de Direcciones Regionales. En el Anexo 5 se muestra un organigrama completo de la DOH.

27. Sin embargo, otras instituciones, externas al ministerio, como el Ministerio de Desarrollo Social (MDS), la Comisión Nacional de Riego (CNR) y el Ministerio de Hacienda (MH), participan en alguna etapa de proceso de toma de decisiones, además de ser fuente y destinatarios de información, durante el desarrollo de los procesos (Fig. 3.1). En el caso de la CNR, esta Comisión interviene hasta la etapa de prefactibilidad de los proyectos, mismos que después se trasladan a la DOH para su seguimiento y desarrollo.

---

<sup>2</sup> Cabe mencionar que este producto estratégico no fue considerado en el levantamiento de procesos de decisión que se presenta en los capítulos siguientes, ya que de acuerdo a los objetivos y alcances del proyecto en el cual se enmarca el presente informe, este producto no será incorporado en el modelo de priorización de infraestructura hidráulica a construir.

28. Adicionalmente, los Gobiernos Regionales (GOREs), los Municipios y diversas asociaciones de ciudadanos, constituyen una fuente de origen de los proyectos de infraestructura, participando además con la entrega de información y en el co-financiamiento tanto de proyectos como de los estudios previos (Figura 3.1).



**Figura 3.1.** Mapa de Actores - Sistema de Planificación y Priorización Proyectos de Infraestructura Hidráulica.

Fuente: Elaboración propia. (\*)La Comisión Nacional de Riego (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.

29. El presente estudio analiza los procesos de planeación y priorización de proyectos de infraestructura hidráulica en diferentes niveles: a nivel global para entender cómo se articula la planeación de proyectos de infraestructura dentro de los mecanismos de planeación existentes en la Dirplan y a nivel sectorial para analizar el proceso de planeación y de priorización que tienen estos proyectos dentro de la DOH. Con este análisis doble se logra entender de manera general las necesidades de mejora del proceso general de planeación y priorización de proyectos de infraestructura hidráulica para los proyectos de infraestructura de riego, de evacuación de drenaje y aguas lluvia y, de infraestructura hidráulica de control aluvional y de manejo de cauces. No se analiza la priorización de proyectos de abastecimiento de agua

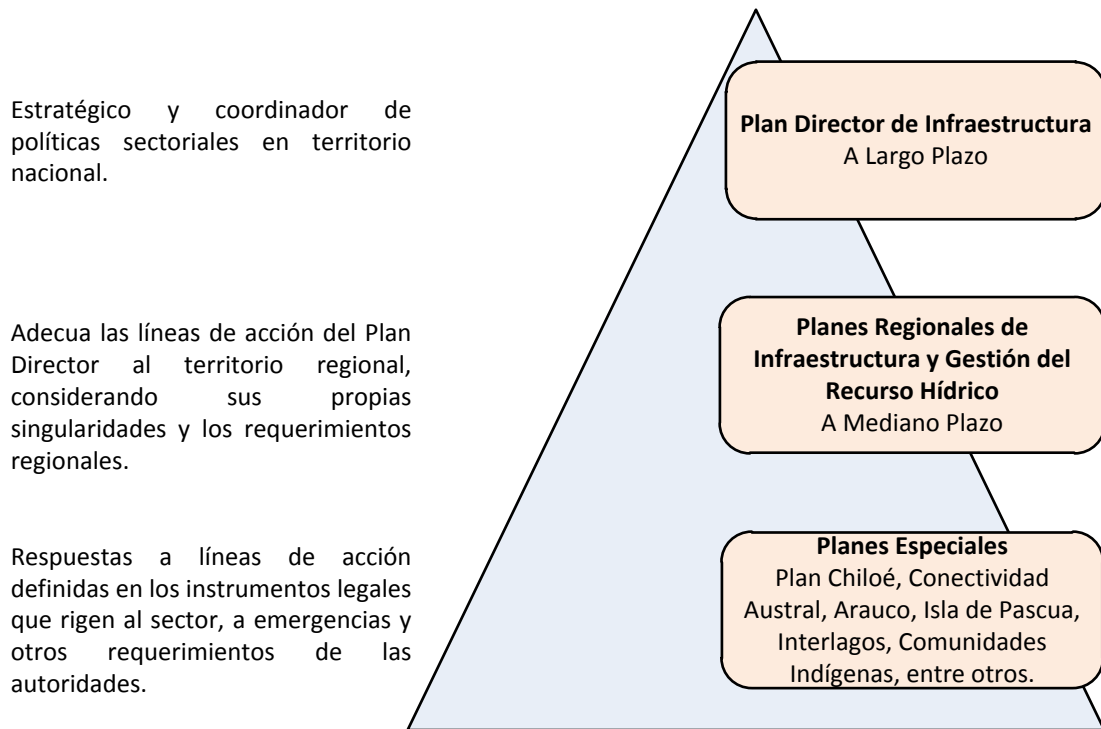


potable rural ya que estos proyectos son financiados de manera separada y no compiten por recursos financieros, como es el caso de los otros tres tipos de proyectos.

### 3.2 Procesos de planeación existentes

#### 3.2.1: La planeación a mediano y largo plazo

30. La planeación a largo plazo se realiza mediante tres instrumentos principales: el Plan Director de Infraestructura, el Plan Regional de Infraestructura y los Planes Especiales, que se articulan como se muestra en la figura 3.2.1a.



**Figura 1.2.1a.** Tipología y alcances de los Planes Ministeriales.

Fuente: “Guía para la elaboración de planes”, Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas, Marzo 2011

31. **El Plan Director** es, a nivel nacional, el instrumento de planificación de mayor jerarquía del MOP, el que desempeña un rol estratégico y coordinador de las políticas sectoriales, por lo que su dimensión temporal es de largo plazo, con un horizonte de 15 a 20 años<sup>3</sup> y con un “territorio” objeto de análisis a nivel nacional. Uno de los resultados del Plan Director es identificar y definir los proyectos de infraestructura y los servicios MOP estratégicos desde el punto de vista nacional, entendiendo por tales, aquellos que son claves e indispensables para la realización de los objetivos de largo plazo que se ha definido el Plan Director.

32. **El Plan Regional** es un instrumento de planificación de mediano plazo con un horizonte estimado de 8 años, enmarcado en una visión país de largo plazo, que adecua las líneas de acción definidas en el Plan Director al territorio regional, considerando sus propias singularidades. En este nivel de planificación se deben identificar y definir los proyectos de infraestructura y los servicios MOP estratégicos desde el punto de vista regional, entendiendo por tales, aquellos que son claves e indispensables para la realización de los objetivos del Plan.

33. **Los Planes Especiales** son respuestas que emanan de líneas de acción definidas en diversos instrumentos como pueden ser: Plan Director de Infraestructura, Planes Regionales de Infraestructura, leyes que rigen al Ministerio o sus Servicios, respuesta a emergencias y otros requerimientos de las autoridades. Estos planes especiales se conciben para contribuir al logro de un objetivo específico. Pueden ser sectoriales y/o territoriales y son vinculantes para la Dirección y/o Servicio respectivo. El objetivo de los Planes Especiales es responder a una necesidad de entrega de servicios de infraestructura y/o gestión del recurso hídrico a un territorio o de un aspecto temático específico asociado a una(s) área(s) de provisión de servicios de infraestructura y/o gestión del recurso hídrico del MOP.

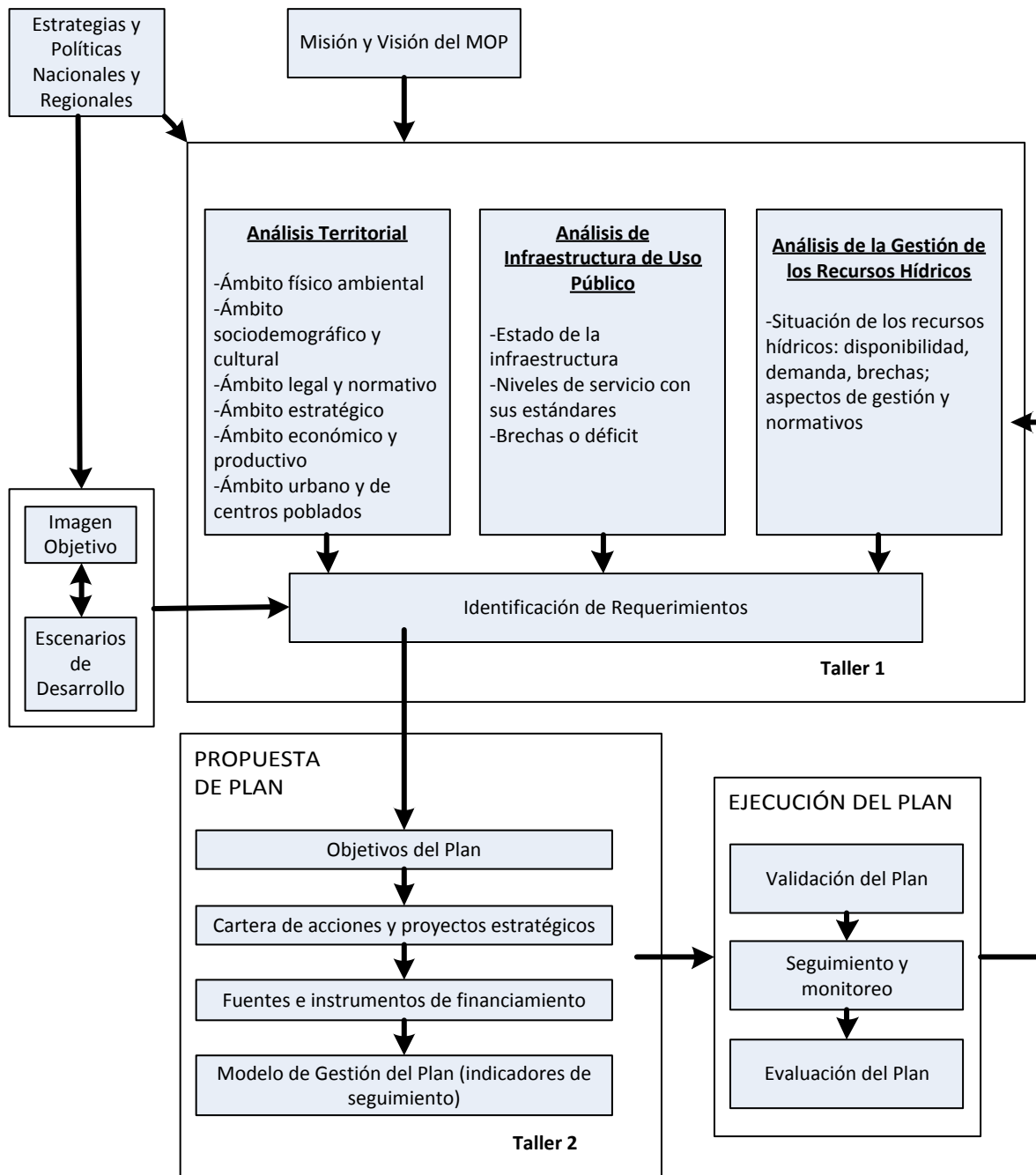
34. La jerarquía de planificación implica también una secuencia, en términos de que primero se debe planificar a nivel nacional, luego a nivel regional y posteriormente a nivel local. De esta forma, la definición de la infraestructura estratégica a nivel nacional pasa a ser un insumo para la planificación a nivel regional, por lo que la cartera de proyectos identificada en el Plan Director debe constituir la situación base del Plan Regional. De manera similar, al planificar a nivel local, los proyectos identificados en los niveles superiores de planificación conforman la situación base del plan local o plan especial que se está elaborando.

## **Metodologías de planificación**

---

<sup>3</sup>La última actualización del Plan Director consideró el periodo 2010-2025.

35. La metodología para el desarrollo de estos planes ha sido definida de manera general por el MOP para la elaboración de estos tres planes y se muestra a grandes rasgos en la figura 3.2.1b.



**Figura 3.2.1b.** Esquema de la metodología para la elaboración de Planes.

Fuente: "Guía para la elaboración de planes", Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas, Marzo 2011. Este análisis se hace para todos los proyectos de infraestructura que son responsabilidad del MOP.

36. **Análisis Territorial:** Es la etapa en la cual se recopilan los antecedentes para determinar la línea de base y se realiza el diagnóstico; para generar una visión clara y precisa del territorio y de sus habitantes, así como de las condicionantes legales existentes. Se identifican y analizan los problemas (vulnerabilidades) y oportunidades (potencialidades) de desarrollo que posee el territorio en la actualidad; esta detección de problemas y oportunidades debe ser realizada desde el punto de vista productivo, social y cultural (incluyendo variables de género). Incorpora un análisis respecto de las causas de los problemas, determinando si las causas son responsabilidad del MOP o radican en otros ámbitos. Por otro lado, el análisis debe incorporar el catastro de las políticas nacionales, sectoriales, las estrategias de desarrollo u otros instrumentos de planificación ya validados atinentes al ámbito del MOP, análisis económico, gobernabilidad, así como la evaluación del estado de la infraestructura, entre otros.

37. **Análisis de la Gestión de los Recursos Hídricos:** El análisis de los recursos hídricos depende en gran medida de la DGA, institución encargada de realizar estudios sobre la situación hídrica de las cuencas del país. Este año, la DGA se encuentra en el proceso de realizar una actualización del balance hídrico nacional, información que será fundamental para la planeación de la infraestructura hidráulica del país. Sin embargo, a la fecha no se cuenta con la información completa de la situación hídrica del país ni con planes de gestión y desarrollo de los recursos hídricos en las cuencas principales del país.

38. **Imagen Objetivo:** Es lo deseado o lo que se quiere alcanzar para el territorio en análisis. También se puede definir como la determinación de estados deseados que aspiran alcanzar los habitantes del territorio a partir de una situación o problemática específica. Esta imagen objetivo puede que sea un dato, o está definida por los habitantes del territorio en un análisis previo, planteado en forma de lineamientos básicos por la Autoridad Ministerial o Regional; y en caso contrario será necesario construirla con los actores relevantes del territorio en análisis.

39. **Escenario de Desarrollo:** Dada la imagen objetivo, se define sobre la base del contexto territorial, la evolución futura de las distintas variables que influyen en el desarrollo del territorio en estudio. Al definir un escenario u otro, las intervenciones en infraestructura así como la temporalidad de las acciones serán distintas.

40. **Objetivos del Plan:** Es la etapa en que se identifica la finalidad hacia la cual deben dirigirse los recursos y esfuerzos para dar cumplimiento con el escenario de desarrollo definido.

41. **Niveles de Servicio con sus Estándares:** Medida cualitativa y descriptiva de las condiciones de prestación que buscan responder a la imagen objetivo y escenario de desarrollo definidos para el territorio

en análisis. Los estándares son un referente básico de la infraestructura que ofertará el Ministerio y deben ser fijados de tal forma que permitan lograr los objetivos territoriales definidos.

42. **Determinación de Brechas:** Es la diferencia entre la oferta y la demanda de infraestructura futura de acuerdo al escenario de desarrollo y los objetivos planteados.

43. **Metas y plazos:** En esta etapa debe definirse qué y cuándo se hace lo definido en los objetivos.

44. **Cartera de Intervención:** Es el conjunto de intervenciones e iniciativas de proyectos y acciones que permiten lograr las metas del Plan. En la medida de lo posible se debe detallar el aporte específico de cada proyecto para el cumplimiento del Plan y la interdependencia con los otros proyectos.

45. **Definición de Indicadores para el Monitoreo:** En esta etapa se definen las variables que se medirán en forma continua durante todo el desarrollo del Plan. Así como las evaluaciones periódicas que se realizarán.

46. **Modelo de Gestión del Plan:** En esta etapa se debe definir la forma y estrategias que se desarrollará la materialización del Plan.

47. **Propuesta de Fuentes e Instrumentos de Financiamiento:** En esta etapa se debe tratar de identificar tanto los distintos instrumentos financieros como las fuentes a utilizar para las iniciativas del Plan.

48. **Cartografía:** Cada Plan debe contar un set de cartografía temática -referida al diagnóstico y a la cartera de inversiones propuesta- sobre una carta base. La escala de la cartografía dependerá del tipo de Plan (Director, Regional y Especial) y el nivel de detalle de la información que requiere representar.

49. Actualmente existen los siguientes planes de infraestructura se encuentran vigentes:

- **Chile 2020, Obras Públicas para el Desarrollo.** En este estudio: se realiza un diagnóstico del impacto de los cambios globales (procesos de globalización, demografía, tecnología y medio ambiente) y se definen los ejes estratégicos de política y estrategia que deberían orientar la acción del Ministerio. Como parte de este estudio se encuentra el documento: **Infraestructura Hidráulica del Chile 2020**, el que da cuenta con mayor detalle de la inversión en obras hidráulicas que se estima el país debería abordar en el mismo horizonte de tiempo a través de acciones de responsabilidad estatal.

- **Plan director 2010-2012.** El aspecto central del Plan Director lo constituye la identificación de planes de inversión en infraestructura, para establecer un conjunto de inversiones tendientes a contribuir de manera relevante a alcanzar el potencial de desarrollo del territorio o superar deficiencias de infraestructura. El Plan Director de Infraestructura considera, en el ámbito de los recursos hídricos, favorecer las condiciones para el mejoramiento de la producción y exportación de alimentos en el marco del Plan “Chile Potencia Agroalimentaria”, la mitigación del impacto de sequías, crecidas e inundaciones y la solución de problemas de disponibilidad de recursos hídricos. Esto se logra mediante Acciones estructurales que se materializan en obras hidráulicas y, Acciones no-estructurales que se materializan en planes de acción para la optimización del uso de los recursos hídricos.
  
- **Planes Regionales de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021.** Los Planes Regionales de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico se enmarcan en el desafío de planificar las intervenciones del Ministerio de Obras Públicas en cada una de las regiones del país al año 2021. Incluye los ámbitos de los servicios de infraestructura, así como, el ámbito de la Dirección General de Aguas vinculado a la gestión de los recursos hídricos. Cada Plan identifica una cartera de inversión a corto y mediano plazo que responde a los objetivos del Plan y a los lineamientos estratégicos ministeriales cuya finalidad es contribuir a los ejes e imagen objetivo que cada región ha definido en su Estrategia Regional de Desarrollo. Estos planes, elaborados de manera participativa con actores públicos y privados de cada región, definen la carta de navegación deseable para que la infraestructura pública sea un habilitador del desarrollo de cada territorio regional. Se han elaborado 15 planes regionales, como primera experiencia del Ministerio en la elaboración de planes regionales integrales de Infraestructura y Gestión del Agua, con una visión territorial, estratégica y participativa. Éstos han sido liderados por los SEREMIS MOP en cada Región, e informan la inversión del MOP para la próxima década. Estos Planes se consideran un insumo para: (i) Los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial (PROT) de los Gobiernos Regionales; (ii) La Zonificación del Borde Costero; (iii) Los Planes Intercomunales del MINVU; y (iv) Los Planes de Acción de los diversos Ministerios y sectores económicos, como el silvoagropecuario, el turismo, la minería, el portuario, la construcción, entre otros. Se realizó la primera Consulta Ciudadana de Planes MOP en julio y agosto del 2012, vía web y a través de stands itinerantes. Participaron 26.808 personas que conocieron y votaron por los cinco proyectos más prioritarios que consideraron para desarrollar en su región. Así también se desarrollaron talleres con la participación de más de 2.400 representantes, tanto regionales

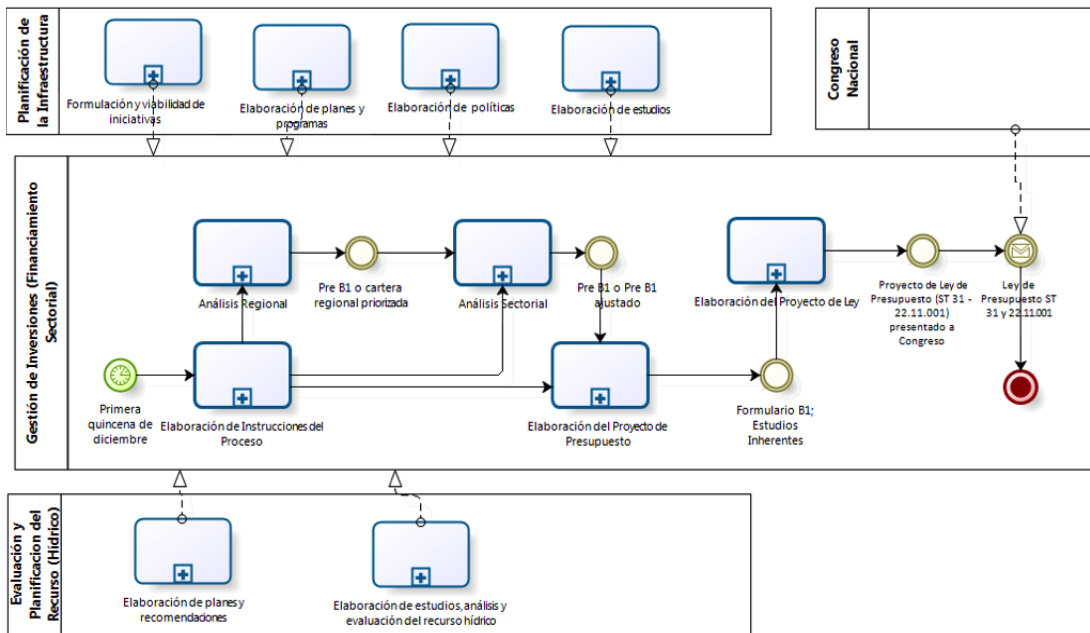
como nacionales, entre públicos y privados. Estas actividades, entre otras, permitieron elaborar los 15 planes Regionales.

### 3.2.2: La planeación a corto plazo (anual)

50. El proceso de planeación de corto plazo tiene como objetivo la construcción del presupuesto anual. Este proceso tiene como insumo la siguiente información:

- Políticas
- Estudio básicos y/o inherentes
- Planes de mediano y largo plazo y programas (Plan Director, Plan Regional, Plan especial, Estrategias de desarrollo regional y Programas)
- Iniciativas de inversión factibles de ejecutar

51. Este proceso de planeación se describe en la figura 3.2.2a.



**Figura 3.2.2a.** Planeación anual de inversiones.

Fuente: “Modelo Gestión de Inversiones MOP Actualizado”, Bizagi Process Modeler. Departamento de Planificación, Dirección de Obras Hidráulicas, 2011.

52. Sobre este proceso se destacan algunas actividades:

- **El análisis regional, o Exploratorio Regional (ver en Anexo 11)** tiene como objetivo identificar la cartera de iniciativas de inversión y estudios inherentes que se propondrán, considerando las prioridades propias de cada región para un año en particular para cada uno de los sectores o productos estratégicos. El proceso comienza con la identificación de una propuesta preliminar de cartera regional por cada Servicio presente en la región, que será utilizada como insumo a la fase de análisis regional, luego se realizan las actividades de coordinación interna MOP a nivel central y regional con los Servicios y regiones que participan en la fase de Análisis Regional. Entonces, se configura la cartera regional priorizada de iniciativas y estudios inherentes (en caso de existir) con prioridad regional, y finalmente, se presenta la Cartera Pre ARI (Pre Análisis Regional) en una instancia de reunión entre la Región y los Servicios MOP, coordinadas por DIRPLAN y liderada por el SEREMI, donde se define la cartera definitiva a presentar, cartera Pre B1. Esta priorización no cuenta con una metodología definida, ni procesos estandarizados. Se reconoce que obedece a una presión política y social en base a las necesidades más urgentes. Como resultado de esta etapa, se obtiene una cartera de proyectos regionales, donde a cada proyecto se le ha asignado en forma consensuada una prioridad alta, media o baja. Esta cartera de proyectos es para todos los sectores de obra pública que son responsabilidad del MOP.
- **El Análisis Sectorial** (Figura 3.2.2.c. en Anexo 11) tiene como objetivo identificar las prioridades sectoriales en torno a las iniciativas de inversión que servirán de base para el Anteproyecto Regional de Presupuesto MOP a enviarse a los Intendentes Regionales. El proceso inicia con actividades de coordinación interna MOP en el nivel central con los Servicios que participan en la fase de Análisis Sectorial, de manera de definir la cartera de inversiones de cada servicio, para luego priorizarla, y prepararla para el envío de ARI MOP a Intendentes y PreB1 a DIPRES de Ministerio de Hacienda. En esta fase el proceso de priorización tampoco está claro.
- **Elaboración del Presupuesto y Elaboración del Proyecto de Ley.** Finalmente se elabora el presupuesto que se presenta ante el Ministerio de Hacienda y se presenta la Ley de Presupuestos MOP ante el Congreso.

53. El proceso de planeación de corto plazo tiene excepciones que corresponden a los casos de provisión de infraestructura de defensas fluviales, los cuales en términos muy generales y usualmente se definen en forma reactiva a eventos de inundación. Para su financiamiento, se define en los presupuestos anuales un fondo para las inversiones denominado “materia de conservación y mantenimiento más



emergencias”. Sin embargo el carácter de imprevisible de la ocurrencia de estas emergencias implica la necesidad de reasignar recursos durante el año presupuestario.

54. Por otro lado, como condición necesaria para la asignación de presupuesto, cada iniciativa de inversión (ya sea estudio de pre inversión, ejecución de obra, programa u cualquier otra iniciativa), debe contar con el RATE4 RS5 del MDS. Para mayor detalle, , en el Anexo 11 se presenta un flujograma respecto de la Planificación de Inversiones y Gestión de Financiamiento.

55. En este sentido, las condiciones que determinan el RATE RS de un proyecto constituyen “criterios tipo filtro” para su posterior avance en su ciclo de vida, y los beneficios y costos considerados en las metodologías de evaluación social del Ministerio de Desarrollo Social (MDS), antiguo MIDEPLAN, para cada uno de los tipos de infraestructura a cargo de la DOH, resultan ser criterios implícitos.

### **3.2.3: Procesos para la preparación de proyectos para el desarrollo de Obras de Infraestructura Hidráulica**

56. A continuación se describen los procesos de desarrollo de los cuatro productos de la DOH que son: servicios de infraestructura hidráulica de riego, servicios de infraestructura hidráulica de control aluvional y de manejo de cauces y servicios de infraestructura hidráulica de evacuación y drenaje de aguas lluvias.

#### **Proyectos de infraestructura hidráulica para riego**

57. En el caso de proyectos de desarrollo de infraestructura de riego, desde el 1915 existe en Chile un organismo gubernamental encargado de propiciar la infraestructura necesaria para aumentar la capacidad productiva de la agricultura del país.

58. El marco normativo que rige la provisión de obras de riego se compone de:

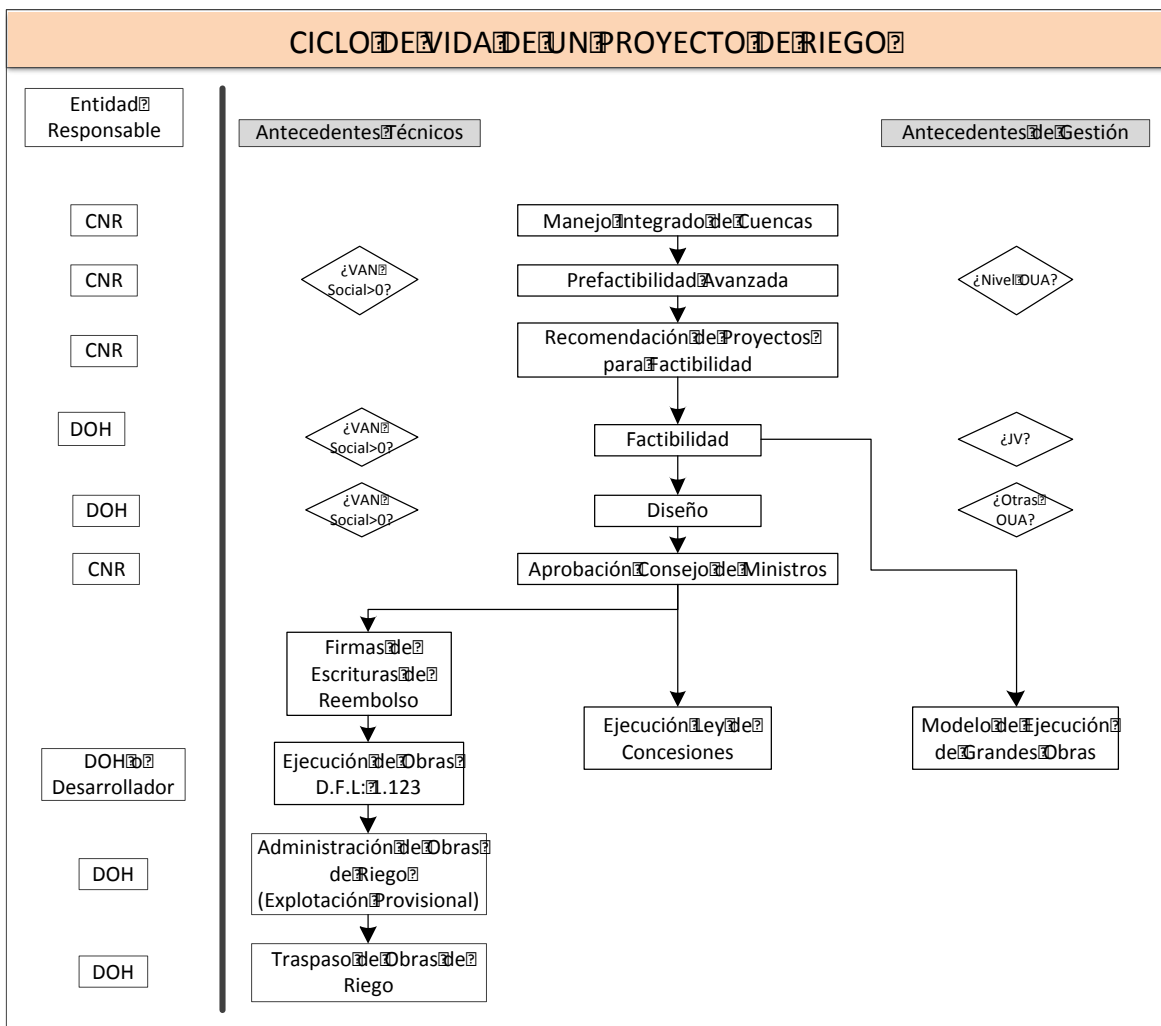
---

<sup>4</sup> RATE: Resultado de Análisis Técnico Económico. Solo un analista de SERPLAC o del Departamento de Inversiones de MIDEPLAN está autorizado para recomendar las solicitudes de acuerdo a la competencia sectorial que se le otorga o el ámbito de competencia de una iniciativa (Nacional o Regional).

<sup>5</sup> En el Sistema Nacional de Inversiones (SNI) es posible identificar los siguientes resultados de análisis técnico económico: RS: Recomendado Favorablemente; FI: Falta de información; IN: Incumplimiento de normativa; OT: Objetado técnicamente; RE: reevaluación.

- La Ley Orgánica del MOP, D.F.L. N°850 del año 1997
- DFL 1.123 de 1891 del Ministerio de Justicia<sup>6</sup> establece normas sobre ejecución de obras de riego por el estado, y su Reglamento
- “Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego”. Consejo de Ministros de la Comisión Nacional de Riego, 114 de abril 2011.

59. En términos generales, y en el marco del ciclo de vida de un proyecto, la provisión de obras de riego sigue las etapas que se presentan en la Figura siguiente.



**Figura 3.2.3a.** Esquema resumido del ciclo de vida de Obras de Riego.

<sup>6</sup> Última modificación LEY 18.681 11.01.1995

## **Generación de la Idea - Identificación**

60. El primer paso es la Generación de la Idea de hacer el proyecto de infraestructura, etapa cuyo responsable principal es la Comisión Nacional de Riego, CNR.

61. De acuerdo al Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego<sup>7</sup>, “La aspiración del Manual es considerar a la cuenca como unidad de planificación y gestión de los recursos hídricos, para lo cual se requiere una política decidida a favor de la ejecución de Estudios Integrales de Cuencas que permitan a las instituciones públicas desarrollar la mejor estrategia para el desarrollo de la cuenca, basado en el uso racional y sostenible de los recursos hídricos”.

62. De acuerdo con estos procedimientos, el Departamento de Estudios de la CNR, realiza “Estudios Integrales de Riego” y “Estudios de Manejo Integrado de Cuencas”, que constituyen las principales fuentes de ideas de proyectos. Sin embargo, estos estudios son sectoriales, y únicamente analizan a la cuenca desde el punto de vista de las inversiones en riego, sin tomar en cuenta los otros usos que en ella se realizan; en la práctica no se cuenta con información que documente, hasta la fecha, que se hayan realizado dichos estudios. Cabe señalar, que de acuerdo a la legislación actual, esta tarea le correspondería a la DGA. De manera adicional, ha habido casos donde los proyectos han nacido por iniciativa de los propios beneficiarios<sup>8</sup>, como es el ejemplo del Embalse Blanco del Rio Cautín.

63. Cuando una idea de proyecto nace desde los propios beneficiarios, canalizada a través Municipalidades, Gobiernos Regionales y Juntas de Vecinos, y/o Diputados; el ciclo de vida se inicia una vez que la idea llega a la CNR.

64. Si la iniciativa es de tipo pública, a la Comisión Nacional de Riego le corresponde levantar y recopilar la información que respalda la idea de proyecto a nivel de perfil, inscribirlo e ingresarlo al BIP del SNI para obtener el RATE RS, para el desarrollo del Estudio de Prefactibilidad, estudio que debe además ser aprobado por la Comisión Nacional de Riego.

## **Prefactibilidad**

---

<sup>7</sup> Manual para el Desarrollo de Grandes Obras de Riego, Consejo de Ministros de la Comisión Nacional de Riego, 114 de abril 2011.

<sup>8</sup> Caso Embalse Rungue, el cual fue solicitado por la misma Asociación de Regantes.

65. Los Estudios de Prefactibilidad de Obras de Riego son responsabilidad de la Comisión Nacional de Riego, sin embargo ésta licita su desarrollo, en cuya licitación se incorpora además las actividades preliminares asociadas a los posteriores estudios de impacto ambiental que se requieren.

66. El Estudio de Prefactibilidad consta de dos partes: Los Antecedentes Técnicos y los Antecedentes de Gestión. Ambos definen distintas condiciones para que el proyecto pase a la siguiente fase. El Manual establece las condiciones para que un proyecto avance de la etapa de prefactibilidad a la etapa de factibilidad. Los roles de la CNR y DOH en este proceso se muestran en la Figura 3.2.3.a

67. Los beneficios que se consideran en la metodología de evaluación del MDS para este tipo de obras son:

- Beneficios del riego: Mayor disponibilidad de agua, la liberación de los recursos hídricos y el aumento de la eficiencia en el riego, lo que permite la incorporación de nuevas tierras para actividades productivas y mejorar los ingresos de aquellos que fueron regados, ya sea a través de una mayor asignación de agua y/o un aumento en la seguridad de riego. En algunos casos, como consecuencia de la disminución del riesgo en el suministro de agua, opera un cambio a tipos más rentables de cultivos.
- Generación hidroeléctrica: Beneficios por venta de energía eléctrica, beneficios por producción de energía para autogeneración, y otros beneficios tales como los beneficios netos por efecto de su utilización en otros usos (riego, agua potable, turismo y otros), restando los costos sobre los propósitos de defensa fluvial y control de crecidas.
- Aumento de agua potable: Beneficios por venta de agua cruda embalsada a una empresa o sistema sanitario, y beneficios netos de provisión de agua potable en área sin sistema de agua potable.
- Aumento de oferta de agua para Minería: Aumento de consumo y ahorro de costos por fuente reemplazada.

68. De esta forma, el valor presente de las estimaciones de beneficios anuales que se percibirán por las mencionadas cuatro fuentes de beneficios, deberá ser mayor a los costos de inversión y operación de la obra, como condición necesaria para pasar a la etapa de factibilidad.

69. De acuerdo a los procedimientos formales, un proyecto es definitivamente rechazado en la etapa de prefactibilidad si falta interés de los regantes, o si el proyecto no es factible técnica y/o

económicamente. En la práctica, y como generalmente los proyectos son respuesta a problemáticas identificadas ya sea en estudios integrales como por parte de los mismos afectados, un proyecto que cumple con las condiciones de rechazo, es optimizado (o reformulado) en términos de tamaño, ubicación u otras variables, tal de poder hacerse cargo del problema de origen de otra manera. Este es el caso del proyecto del Embalse Longavi, que debió ser reformulado pese a encontrarse en la etapa de diseño.

70. Para iniciar la etapa de factibilidad de un proyecto, la Comisión Nacional de Riego presenta al Consejo de Ministros la cartera con los proyectos que cumplen con las condiciones definidas previamente para avanzar a la etapa de Factibilidad, priorizados según criterios económicos, es decir, utilizando indicadores tales como el VANS, IVANS y TIRS, para que se apruebe su traspaso a la Dirección de Obras Hidráulicas. El Consejo de Ministros podrá hacer modificaciones a la priorización de proyectos entregada por la CNR basado en criterios de interés público no incorporados en la evaluación socioeconómica del proyecto, como soberanía geopolítica, intereses étnicos u otros.

### **Factibilidad**

71. En cualquier caso, la Dirección de Obras Hidráulicas recibe una cartera de proyectos priorizados con todos los antecedentes técnicos y de gestión por parte de la Comisión Nacional de Riego para que desarrolle los estudios de factibilidad de dichas iniciativas.

72. Entonces corresponde solicitar RATE RS al SNI para avanzar a la siguiente etapa del ciclo de vida del proyecto, el Estudio de Factibilidad. Una vez que se obtiene el RATE RS, el Estudio de Factibilidad debe ser priorizado el Exploratorio Regional y luego en el Exploratorio Nacional de Obras de Riego, para recibir el presupuesto necesario.

73. El Departamento de Proyectos de Riego de la DOH licita el desarrollo del Estudio de Factibilidad, estudio que incorpora la evaluación de alternativas que corresponden básicamente a tamaño y ubicación de las obras, lo que implica definir áreas factibles de regar en cada alternativa.

74. El Estudio de Factibilidad incorpora también un Estudio de Análisis Ambiental (EAA), en el cual se define si es pertinente el ingreso del proyecto al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)<sup>9</sup>, por esta razón, para la aprobación del estudio, la Unidad de Medio Ambiente Departamento de Medio Ambiente y Territorio del MOP apoya a la DOH en la etapa de revisión del estudio.

---

<sup>9</sup> La Ley n° 19.300, en sus Artículos N° 10 y N°15 establece las condiciones que se debe cumplir para que un proyecto ingrese al SEIA.

75. El Manual establece las condiciones para que un proyecto avance de la etapa de Factibilidad a la etapa de Diseño, las cuales, además de contemplar la rentabilidad privada y social positiva<sup>10</sup> (de acuerdo a la misma Metodología de Evaluación Social del MDS aplicada en la Etapa de Prefactibilidad) y la aprobación de la DOH, contempla los siguientes condiciones asociadas a antecedentes de gestión:

- Aprobación de la participación ciudadana (PAC) con, al menos, el acuerdo de resolver temas de interés en la siguiente etapa.
- Interés de los regantes, formalizado por al menos, un 33% de acciones (Art. 7 del DFL 1.12311).
- Conformación de Asociación de Canalistas, a lo menos, Junta de Vigilancia.
- Perfeccionamiento de derechos de aprovechamiento de aguas iniciados.

76. En la práctica, hay otros factores que pueden hacer inviable un proyecto que ha llegado incluso a la etapa de diseño. Por ejemplo se pueden mencionar los casos de:

- Embalse Las Palmas: Aún no es posible otorgar los derechos de agua solicitados el año 2006.
- Embalse La Ligua: Para el cual es necesario la realización de sondajes adicionales, aumentando el presupuesto inicial de MM\$14 a MM\$90, aumento de presupuesto que no ha sido aprobado.

77. Pese a que un proyecto podría no cumplir las condiciones antes mencionadas, el DFL 1.123 en Artículo 5°- “El Presidente de la República, por decreto fundado, podrá ordenar la confección del proyecto definitivo y la ejecución de obras aún cuando no se reúnan los requisitos establecidos en los artículos 3° y 4° respectivamente, si razones de interés público así lo aconsejan. El exceso sobre el valor comercial, en su caso, será de cargo del Fisco”.

78. Al respecto, el Decreto 285 de 1995, en su artículo 10° establece que: “Para los efectos señalados en el artículo 5° de la ley, sin perjuicio de otros motivos fundados, podrá siempre entenderse que existen razones de interés público en los siguientes casos:

---

10 DFL N° 1.123, Artículo 4°- Sólo se podrá ejecutar el proyecto cuando el precio de los terrenos, más el costo de las obras por construir no sea superior al valor comercial de terrenos regados similares de la misma región

11 DFL N° 1.123, “Artículo 3°- La Dirección de Riego podrá ordenar la confección del proyecto definitivo si los interesados que representen a lo menos el 33% de los nuevos terrenos por regar o el 33% de los derechos de aprovechamiento cuando se trate de obras de uso múltiple manifiesten por escrito que aceptan el anteproyecto a que se refiere el artículo anterior. Cuando se trate de obras de mejoramiento se considerará, para realizarlas, la suscripción del 33% del aumento de las disponibilidades de agua.”

- Cuando la confección del proyecto definitivo y la ejecución de las obras es aconsejable por razones sociales, o si las obras beneficiarán a zonas geográficas económicamente deprimidas, de acuerdo a las estadísticas del Instituto Nacional de Estadísticas.
- Cuando, no obstante superar el precio de los terrenos que regará el proyecto más el costo de las obras al valor comercial indicado en el artículo 8° de este decreto, el Presidente de la República fundadamente, ordene su ejecución. En este caso, el exceso sobre el valor comercial será de cargo del Fisco.
- Cuando la confección del proyecto definitivo y la ejecución de las obras es aconsejable por razones de fomento de la producción, y
- Cuando las obras tengan por objeto regularizar el régimen de una corriente natural de uso público o parte de ella.”

79. Entonces, una vez aprobados los productos anteriores, corresponde la actualización de la ficha del proyecto en el BIP para la obtención del RATE RS para la siguiente etapa, el Estudio de Diseño. Una vez que se obtiene el RATE RS, el nuevo estudio debe ser priorizado en el Exploratorio Regional y luego en el Exploratorio Nacional de Obras de Riego, para entonces recibir el presupuesto necesario para llevarlo a cabo.

80. Una vez que se obtiene el presupuesto para llevarlo a cabo se pasa a la fase de diseño y análisis ambiental para después definir el modelo de ejecución y pasar a la firma escritura de los compromisos de reembolso.

### **Diseño Ejecutivo**

81. Con los productos anteriores terminados y aprobados, corresponde la actualización de la ficha del proyecto en el BIP para la obtención del RATE RS para la siguiente etapa, la construcción de la obra. Una vez que se obtiene el RATE RS, el proyecto debe ser priorizado en el Exploratorio Regional y luego en el Exploratorio Nacional de Obras de Riego, para entonces recibir el presupuesto necesario para su construcción.

82. En el Anexo 4 se presenta el flujograma de procesos que resulta del levantamiento de información realizado en el marco del presente documento.

### **Proyectos de Inversión en Infraestructura Hidráulica para el Control Aluvional y el Manejo de Cauces**

83. La DOH realiza intervenciones en cauces naturales mediante obras fluviales y de control aluvional, con el objetivo de controlar las crecidas y los eventos aluvionales que puedan poner en riesgo viviendas, infraestructura o terrenos.

84. Para lograr esto, la DOH realiza Planes de Maestros de Cauces. Estos planes incluyen un estudio integral del cauce, que incorpora aspectos hidráulicos y de mecánica fluvial, donde se realiza una gestión integrada de cauces con el fin de determinar planes de acciones, basados en medidas estructurales y no estructurales, lo que permite determinar las zonas de inundaciones, terrenos erosionables antes crecidas, zonas con riesgo de aluviones y posibles soluciones y medidas para mitigar estos efectos. Para ellos la DOH desarrolla las etapas de factibilidad, diseño, construcción y fiscalización de proyectos relacionados con el control aluvional, el manejo de cauces, ya sea mediante contratos de consultorías o licitaciones públicas. Sumado a lo anterior la DOH debe revisar y supervisar los proyectos relacionados por otros organismos que intervengan cauces y puedan generar problemas futuros. Junto con la anterior, la DOH funciona como un apoyo frente a situaciones de emergencia, monitorea cauces e implementa medidas y obras de mitigación frente a situaciones puntuales.

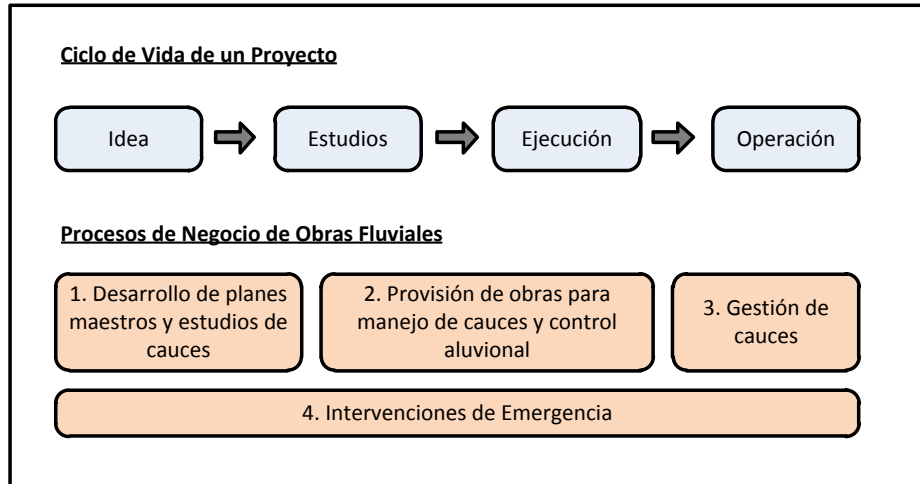
85. Se identifican cuatro líneas de trabajo o procesos de negocios asociados al desarrollo de obras fluviales<sup>12</sup>, los cuales pueden ser relacionados con las etapas de ciclo de vida de un proyecto (Figura 3.2.3c.):

1. Desarrollo de planes maestros y estudios de cauces: relacionado con la planificación de acciones y generación de ideas de proyectos de infraestructura u otros.
2. Provisión de obras para manejo de cauces y control aluvional: relacionado con el desarrollo de proyectos de infraestructura.
3. Gestión de cauces: relacionado con el desarrollo de proyectos de gestión de la infraestructura.
4. Intervenciones de emergencia.

---

<sup>12</sup> Presentación: "Análisis de Procesos", Dirección de Obras Hidráulicas, Departamento De Obras Fluviales, Subdirección de Cauces y Drenaje Urbano, Ministerio De Obras Publicas. Octubre 2001





**Figura 3.2.3c.** Procesos de Negocio de Obras Fluviales asociados al Ciclo de Vida de un Proyecto.

86. El desarrollo de planes y estudios tiene su origen en el Departamento de Obras Fluviales, es decir, nivel central. Una vez que se ha decidido desarrollarlo, en coordinación con la Dirección Regional que corresponda, se recopilan los antecedentes que respalden su justificación), y se incorpora el “proyecto de desarrollar el plan o estudio” en el catastro regional de estudios a desarrollarse. En términos generales, los estudios están a cargo del nivel central, y la Dirección Regional que corresponda apoya en la recolección de información y el manejo del BIP del SIN en lo relativo al Estudio. La Figura 3.2.3.d. en el Anexo 11 presenta un mayor detalle de este proceso.

87. Los Estudios, ya sean Planes de Manejo de Cauces o Estudios Aluvionales, concluyen con una propuesta de proyectos de inversión a nivel de prefactibilidad. Sin embargo, si bien el Ministerio de Desarrollo Social considera vigente un proyecto cuyo estudio no tenga más de cinco años de antigüedad, los Estudios de Planes de Maestros de Cauces tienen la particularidad de tener aún menor vigencia técnica, debido al dinamismo natural con que se modifican los cauces fluviales.

88. Entre las principales obras fluviales y de control aluvional se pueden mencionar: defensas longitudinales en las riberas mediante enrocados, gaviones, terraplenes u otros; espigones; muros guarda radier; revestimientos de cauces; gradas correctoras de pendiente; muros transversales al flujo, embalses de control de crecidas, diques retenedores de sedimentos y otros<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Fuente: “OBRAS FLUVIALES Y DE CONTROL ALUVIONAL”. Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. <http://www.doh.gov.cl/productosyservicios/tiposproducto/Paginas/default.aspx>

89. Durante el análisis realizado, para los proyectos de infraestructura, en adelante “iniciativa de inversión”, se reconocen tres principales fuentes de origen: (1) Planes de Manejo de Cauce y Estudios Aluvionales, a cargo de la Departamento de Obras Fluviales a nivel central, (2) Solicitudes de terceros canalizadas a través de las Direcciones Regionales de la Dirección de Obras Hidráulicas, y (3) Emergencias, analizadas conjuntamente entre las Direcciones regionales y el nivel central.

90. Sin embargo, de acuerdo a la experiencia, correspondería agregar también la opinión experta de los mismos funcionarios, ya sea de la Dirección Regional que corresponde, como del Departamento de Obras Fluviales, ocurre no con poca frecuencia, que durante las diferentes actividades en terreno, se observar situaciones de riesgo, donde se recomienda la ejecución de un determinado proyecto.

91. Una vez generada la idea de iniciativa de inversión, la Dirección Regional prepara los antecedentes del proyecto a nivel de perfil, lo incluye en su catastro de obras requeridas , y lo inscribe en el Banco Integrado de Proyectos, BIP, del Sistema nacional de Inversiones, SIN, para obtener el RATE RS. Al respecto cabe señalar que de acuerdo a las normas del SNI, las obras fluviales de costo menor a M\$200.000, pueden ser presentadas con una evaluación costo eficiencia.

92. Una vez que el proyecto obtiene su recomendación favorable (RS) y en el marco de la elaboración del presupuesto anual del Ministerio, la Dirección Regional lo incluye en su Exploratorio, donde selecciona las iniciativas de inversión para las cuales solicitará financiamiento, luego, en el Exploratorio Nacional, a cargo de la Dirección de Planeamiento del Ministerio de Obras Públicas, DIRPLAN, se seleccionan las iniciativas que serán incluidas en el presupuesto en elaboración, considerando las listas de iniciativas recibidas de todas las regiones del País. Si la iniciativa es incluida, entonces la Dirección de Obras Hidráulicas recibe el presupuesto.

93. Una vez aprobado el presupuesto, se procede al diseño y construcción de la obra. Los estudios de diseño pueden ser realizados de manera externa, mediante una consultoría, o de manera interna por parte del personal de la DOH. Estos estudios incluyen el análisis ambiental de las obras proyectadas.

94. Cabe señalar que los procesos antes descritos no aplican frente a la necesidad de construir una obra de emergencia, caso en el cual no se desarrollan estudios preliminares, comenzando la etapa de diseño inmediatamente.

95. En el caso de los proyectos que surgen de los Planes Maestros y Estudios de Cauces, Los criterios que se aplican para la priorización de proyectos al interior del Departamento de Obras Fluviales, se

desprenden de la Ley Orgánica del MOP, D.F.L. N°850 del año 1997, los que en orden de importancia son: (1) Protección de población, (2) Protección de obras de infraestructura, (3) Protección de áreas agrícolas.

96. Sin embargo este orden de importancia puede sufrir algunas variaciones en su aplicación, ya sea por las prioridades o compromisos adquiridos por las autoridades políticas, como por las características propias de la justificación del estudio o proyecto, como por ejemplo: si las zonas agrícolas a proteger corresponden a agricultura de subsistencia, si la zona afectada corresponde a tierras indígenas, la frecuencia con que ocurren las inundaciones, el grado de vulnerabilidad de la población afectada, entre otras posibles.

### **Proyectos de Inversión en Infraestructura Hidráulica para la Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias**

97. Las responsabilidades de la DOH según la Ley N° 19.525 son: “la planificación, estudio, construcción, reparación, mantención y mejoramiento de la red primaria de sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias”. Por exclusión, esta ley entrega al Ministerio de Vivienda y Urbanismo, la responsabilidad sobre las redes secundarias de las ciudades.

98. Con la entrada en vigencia de la Ley N°19.525, la DOH genera un programa de estudios conducentes a la elaboración de Planes Maestros de Drenaje y Evacuación de Aguas Lluvias en distintas ciudades a nivel nacional. Para la priorización de ciudades, la misma Ley N°19.525 es explícita en establecer que se debe priorizar en aquellas ciudades que poseen una población de más de 50.000 habitantes.

99. El Plan maestro se estableció como un instrumento de planificación urbana, considerando las obras de la red primaria del saneamiento urbano. A través de él se genera un diagnóstico de la infraestructura de evacuación de aguas lluvias existentes en las ciudades y se planifican soluciones para evitar inundaciones. Las ciudades que poseen más de 50.000 habitantes a nivel nacional eran 33, y desde 1998 hasta la fecha se han elaborado los Planes Maestros para todas ellas. En la actualidad se están abordando ciudades menores. Sólo un 10% de la población urbana no tiene en desarrollo un Plan Maestro, y un 6% se encuentra en desarrollo.

100. El Plan Maestro incluye lo siguiente:

- Estudios Básicos de cartografía, topografía, pluviometría hidrológica e hidráulica

- Identificación y descripción de la infraestructura existente
- Diagnóstico de la Infraestructura existente u determinación de áreas críticas
- Análisis y Selección de Alternativas de Solución
- Desarrollo y análisis de alternativas seleccionadas a nivel de prefactibilidad
- Definición y priorización de red primaria

101. Para cada una de estas etapas, el Departamento de Proyectos de Aguas Lluvias revisa, presenta a la comunidad y aprueba, previo poder continuar con la etapa siguiente

102. En aquellas ciudades con Planes Maestros elaborados, la DOH es la encargada de desarrollar las etapas de factibilidad, diseño y construcción de proyectos específicos de redes primarias, ya sea de manera directa o mediante licitaciones públicas. Siendo funciones de la DOH las siguientes:

- Diseñar y construir obras de intercepción y conducción, para evacuar las aguas hacia cauces naturales o artificiales con capacidad para su disposición final.
- Desarrollar la inspección fiscal del contrato, en los casos donde se liciten los proyectos.
- Reparar, limpiar y mantener las obras existentes de colectores de la red primaria.
- Revisar y supervisar proyectos de aguas lluvias desarrollados por otros organismos públicos o privados.
- Actuar como un apoyo en situaciones de emergencia por inundaciones, monitoreando redes, implementando medidas y obras de mitigación.

103. Dentro de la infraestructura utilizada por la DOH para evitar las inundaciones, existen soluciones tradicionales, técnicas alternativas y proyectos multipropósito. Las soluciones tradicionales corresponden a obras de conducción superficiales (canales y cauces naturales mejorados) o subterráneas (colectores de aguas lluvias), las técnicas alternativas abarcan obras destinadas a acumular, regular y/o infiltrar aguas y los proyectos multipropósito combinan el manejo de las aguas lluvias con otros objetivos, como por ejemplo la recarga de acuíferos, canales de uso mixto para lluvia y riego, etc.

104. Las Soluciones estructurales, incluyen lo siguiente como parte del Plan Maestro:

- Trazado, dimensionamiento y modelaciones, a nivel de prefactibilidad, de las obras de la red primaria.
- La inversión estimada requerida por proyecto (diseño y construcción).
- Costos aproximados para el mantenimiento anual requerido de las redes existentes y proyectadas.
- Beneficios e indicadores de rentabilidad estimados en cada proyecto.

105. Las soluciones no estructurales, incluyen lo siguiente como parte del Plan Maestro:

- Comunicacional y Educativo
- Institucional y Reglamentario

106. Para la priorización de las soluciones estructurales, se establecen rangos de prioridad: alta, media y baja, utilizando la metodología y los criterios que cada consultor desarrollador de planes considera pertinente. Algunos de los criterios aplicados han sido:

- Rentabilidad social de los proyectos por daño evitado esperado (VANS),
- Gravedad del problema (población, viviendas, infraestructura vial, servicios e instituciones afectadas, etc.),
- Área inundada,
- Grado de urbanización del área saneada,
- Infraestructura existente
- Nivel de vulnerabilidad de la población afectada
- Volumen de agua caída que causa daño, entre otros.

107. Sin embargo, no existe una definición clara de los pesos relativos de cada uno de los criterios mencionados.

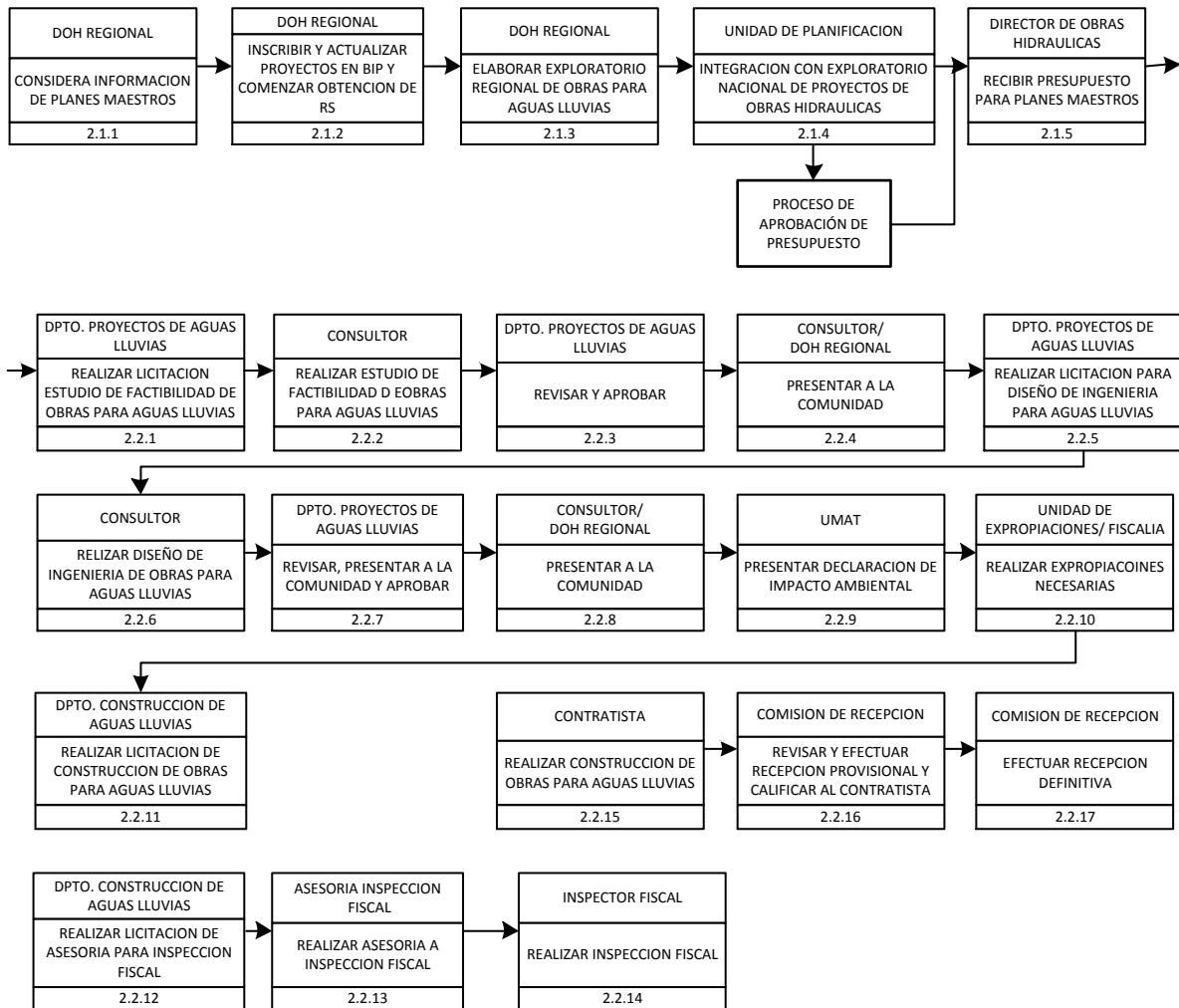
108. Una vez definida la planificación de la infraestructura de aguas lluvias requerida en una ciudad, a través de la elaboración de un Plan Maestro, la DOH desarrolla las etapas de Factibilidad, Diseño y Construcción de proyectos específicos de redes primarias.

109. La siguiente figura presenta el mapa de procesos asociados a la Provisión de Obras de Red Primaria.

110. En la práctica, los Planes Maestros entregan como resultados, para cada proyecto propuesto, una ficha de presentación y el estudio de evaluación a nivel de perfil correspondiente, información con la cual el Departamento de Proyectos de Aguas Lluvias licita el Estudio de Diseño, que incluye el Análisis de Factibilidad. Estos estudios deben además incluir un Estudio de Análisis Ambiental, el cual defina si corresponde o no un Estudio de Impacto Ambiental o una Declaración de Impacto Ambiental<sup>14</sup>. En caso que así corresponda, una vez que se ha definido la alternativa de proyecto a ejecutar, la Unidad de Medio Ambiente del Departamento de Medio Ambiente y Territorio del MOP, licita la realización del estudio correspondiente.

---

<sup>14</sup> La Ley n° 19.300, en sus Artículos N° 10 y N°15 establece las condiciones que se debe cumplir para que un proyecto ingrese al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).



**Figura 3.2.3f.** Mapa de procesos Nivel 2 Para el Desarrollo de Planes de Aguas Lluvia

Fuente: Presentación “Análisis de Procesos”. Dirección de Obras Hidráulicas, Subdirección de Cauces y Drenaje Urbano, Ministerio de Obras Públicas. Octubre 2001.

111. Entonces la Unidad de Expropiaciones y a la Fiscalía, realizar las expropiaciones necesarias en caso que corresponda (proceso 2.2.10).

112. Luego, el Departamento de Construcción de Obras de Aguas Lluvias lícita la ejecución del proyecto (proceso 2.2.11).

113. De manera análoga a los anteriores productos estratégicos analizados, corresponde mencionar que los estudios de pre-inversión tienen una vigencia de cinco años, tanto en su aspecto económico como ambiental, esto implica que cuando un proyecto a obtenido RATE RS durante cuatro periodos pero no a

podido avanzar en su ciclo de vida por alguna situación técnica, administrativa o de prioridad, la etapa en la que se encuentra debe ser actualizada como condición para avanzar, este fue el caso del Plan Maestro de la Ciudad de Valdivia.

114. Respecto del financiamiento, si bien la regla general es que todas las etapas del ciclo de vida de un proyecto de aguas lluvias sea financiado con presupuesto del MOP, existen algunos casos en que se ha procedido distinto:

- Para el caso de ciudades pequeñas, se han elaborado Planes Maestros y Estudios de Diseño con análisis de factibilidad con fondos del Gobierno Regional que corresponde.
- En esta misma línea, está el caso de la ciudad de Punta Arenas, donde tanto los estudios de diagnóstico, los estudios de pre inversión y la misma ejecución de obras, se han desarrollados en el marco de un convenio entre el Gobierno Regional y la dirección de Obras Hidráulicas, DOH.
- Además se cuenta como desarrolladores los mismos urbanizadores, a quienes se les ha exigido el correcto diseño y ejecución de obras de aguas lluvias en el marco de sus proyectos inmobiliarios.
- También resultan interesante el caso de Santiago, donde se ha incorporado proyectos de obras de Aguas Lluvias en los contratos de concesión de vías urbanas.
- Finalmente resulta pertinente mencionar que ha ocurrido que el SERVIU ha aportado a la Red Primaria cuando ha necesitado intervenirla con motivo de obras de Red Secundaria.

115. Finalmente, resulta pertinente mencionar la Ley de Financiamiento de Proyectos de Aguas Lluvias que se encuentra aún en tramitación. Este proyecto de ley, que modifica la actual Ley de Aguas Lluvias de 1997, permitiría ofrecer las obras en concesión y responsabilizaría al Ministerio de Obras Públicas por las redes de drenaje de aguas lluvia principales y secundarias, las que actualmente están en manos del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Además, el proyecto requiere que el Ministerio de Obras Públicas elabore un plan de inversión y un cronograma de obras.

116. Por otra parte, el proyecto exime del pago por las obras a aquellas propiedades con un valor inferior a US\$4.165, mientras que aquellas más caras tendrían que pagar según una escala prorrataada. El proyecto también incluye la posibilidad de subsidios gubernamentales para compensar los cobros extraordinarios que se incluirían en las cuentas mensuales de agua de los usuarios para ayudar a financiar las obras.



117. Adicionalmente, de manera complementaria al proyecto de la Ley de Financiamiento de Proyectos de Aguas Lluvias, en la parte técnica el MOP ha hecho grandes esfuerzos para mejorar el diseño técnico de los proyecto de Aguas Lluvia, presentando recientemente un Manual para el drenaje de Agua Lluvia.

### **3.3 Mecanismos de priorización de proyectos de infraestructura hidráulica**

118. La Dirección de Obras Hidráulicas cuenta con sólidas experiencias en la priorización de proyectos de infraestructura. En el marco de esta asesoría se revisaron los siguientes documentos que describen las metodologías que ha empleado la DOH para la priorización de obras hidráulicas:

- Priorización de Proyectos de Drenajes y Control de Aguas Lluvias (2002)
- Implementación de la Metodología Multicriterio AHP, Para la Priorización de Proyectos de las Obras Hidráulicas Concesionables Sistema Aconcagua, Ancoa Y Punilla (2004)
- Programa para la Modernización de Sistemas de Riego, PROMOSIR (2007)

119. Las tres metodologías revisadas son metodologías multicriterio que incorporan diversos indicadores para realizar la priorización de productos de una misma naturaleza. Por ejemplo, en el caso de la Priorización de Proyectos de Drenajes y Control de Aguas Lluvias, se realizó la priorización de los proyectos resultantes de los Planes Maestros de Aguas Lluvias de las ciudades: Gran Santiago, Gran Viña del Mar, Concepción, Talca y Puerto Montt.

120. Los criterios que se evalúan como parte de estas metodologías que han sido aplicadas anteriormente por la DOH, se pueden clasificar en: criterios económicos, sociales y ambientales principalmente, destacando el estudio realizado en el marco del PROMOSIR, que además incorpora al proceso de priorización, aspectos de tipo administrativos-legales y técnicos. Como ejemplo de los indicadores que se emplearon en estas experiencias, se presentan en el Anexo 6, el listado de indicadores empleados por el PROMOSIR (2007).

121. Como parte del análisis realizado, se pudo observar, que los indicadores empleados en los distintos casos se adecuan a la tipología de proyectos que se están priorizando. Es decir, estos indicadores son diferentes para las obras de riego, obras de manejo de cauces y obras de aguas lluvia.

122. En la definición de indicadores de tipo social y ambiental se debe considerar que de acuerdo a las metodologías de evaluación social de proyectos del Sistema Nacional de Inversiones, en el cálculo del

VAN Social de los proyectos se incorpora la valoración de algunos de éstos aspectos, tales como, por ejemplo, el costo generalizado de viaje y el daño en propiedades residenciales para el caso de obras de aguas lluvias; la reparación y mantención de áreas verdes y la evacuación y mantención de familias afectadas por inundaciones para el caso de obras de defensas fluviales y manejo de cauces, y beneficios por provisión de agua potable para el caso de obras de riego.

123. También es importante señalar que las experiencias de Priorización de Proyectos de las Obras Hidráulicas Concesionables Sistema Aconcagua, Ancoa y Punilla (2004) y el Programa para la Modernización de Sistemas de Riego, PROMOSIR (2007) emplean la metodología de Analytical Hierarchy Process (AHP) para la definición de los pesos de los diferentes indicadores, como parte de la metodología multicriterio.

124. Como resultado del análisis de las metodologías que existen dentro de la DOH para la priorización de proyectos, se ha podido constatar que no se conocen experiencias que prioricen una cartera que incluya proyectos de distinta naturaleza. Es decir, que no existe a la fecha algún procedimiento que permita priorizar entre proyectos de riego, manejo de cauces y aguas lluvia.

125. Sin embargo, resulta importante mencionar la Metodología para la Evaluación Ex Ante de Planes Territoriales de Infraestructura y Recurso Hídrico desarrollada por la DIRPLAN del MOP. Si bien esta metodología no consiste en un modelo de priorización, sus resultados pueden ser utilizables con dichos fines, ya que el índice multicriterio que se desarrolla como parte de la metodología permite evaluar como proyectos de distinta naturaleza contribuyen a alcanzar los diferentes objetivos del Plan Regional.

126. El concepto de esta metodología que está diseñada para analizar carteras con proyectos de distinta naturaleza, consolidando las distintas iniciativas de inversión de las diferentes direcciones del MOP puede servir para priorizar los proyectos de los diferentes núcleos de negocio de la DOH.

127. En este sentido, resulta importante destacar que los indicadores de este tipo de metodología no se desprenden de la naturaleza de los proyectos y, por lo tanto, no miden necesariamente todos o algunos de los beneficios y costos que estos naturalmente generan. Por el contrario, estos indicadores miden objetivos comunes del desempeño de los proyectos y su contribución para alcanzar metas de desempeño que han sido previamente definidas.

## **3.4 Problemas identificados en el proceso de planeación**

### **3.4.1.1 Institucionalidad**

128. Durante el análisis realizado se han detectado problemas de coordinación en el ejercicio de las funciones referentes al estudio y proyección de obras de riego entre la CNR y la DOH. Hoy en día esta responsabilidad se encuentra, normativamente, en la DOH. Sin embargo, actualmente la CNR es la entidad que de facto estudia y proyecta las obras de riego en sus etapas iniciales. Si bien esta separación de funciones permite a la CNR tener una visión estratégica de la provisión de riego en el país, actualmente genera problemas de flujo de información entre las instituciones que participan en el desarrollo de obras de riego. Adicionalmente, el desarrollo de obras de riego de manera sectorial limita la evaluación de estos proyectos dentro del entorno de la cuenca, haciendo difícil la evaluación de los impactos de estos proyectos frente a otros usos competitivos del recurso hídrico.

129. La realización y elaboración de la planeación de la infraestructura hidráulica requiere una fuerte capacidad técnica. Esta capacidad actualmente reside en la DOH, sin embargo es necesario reforzarla para atender las demandas de nuevos proyectos que cada vez son mayores. Sobre todo es necesario incrementar esta capacidad en temas de planeación de infraestructura hidráulica, dotando a la DOH con el apoyo técnico necesario, en recursos humanos y conocimiento, para poder desarrollar infraestructura hidráulica que responda adecuadamente a las necesidades de las regiones.

130. Complementariamente al punto anterior, durante el análisis de los procesos de planeación que actualmente se llevan a cabo, se detectó que estos procesos dependen de manera esencial de la participación de las regiones. Por lo tanto, es necesario fortalecer las capacidades técnicas de las regiones y proveerlas con el apoyo necesario para poder generar información de calidad y suficiente para la planeación de la infraestructura hidráulica. Esta información y este apoyo técnico es necesario particularmente en los procesos de planeación a largo plazo, ya que es en estos procesos es en los cuales se generan las ideas conceptuales de proyectos hidráulicos. Estas ideas de proyectos deben constituir soluciones técnicamente sólidas que respondan adecuadamente a la problemática regional. Para garantizar esto es necesario contar con un apoyo técnico permanente en las regiones, apoyando a la mejora de las capacidades de las instituciones locales como son los Gobiernos Regionales, los Municipios y las Asociaciones Ciudadanas.

131. Durante el análisis que se ha realizado de los procesos de planeación, se ha destacado la relevancia del rol de la DIRPLAN que ha realizado un enorme esfuerzo en desarrollar una metodología para la planeación de los proyectos de infraestructura del MOP. En el proceso de planeación, el papel de esta dirección se vuelve fundamental y su empoderamiento es clave. Actualmente, esta dirección está desarrollando estrategias, metodologías y herramientas de planeación que deberían ser diseminadas al interior de las diferentes áreas del MOP, para lograr esto es necesario fortalecer a la DIRPLAN como entidad responsable de la planeación de infraestructura a nivel nacional capaz de dictar, fiscalizar y establecer normas y procedimientos con respecto a los procesos de planeación para asegurar que las herramientas y procesos que se desarrollen al interior de los distintos servicios estén en línea con los procesos generales a nivel nacional.

### **3.4.1.2 Planeación a largo plazo**

132. El principal reto identificado en el proceso de planeación a largo plazo se vincula con la necesidad de contar con información actualizada, confiable y disponible sobre la situación del territorio a nivel local y regional.

133. En el caso de la planeación de infraestructura hidráulica, esta información debería estar disponible a nivel de cuenca. Para esto es necesario terminar lo antes posible los estudios del balance hídrico a nivel nacional y por cuenca que actualmente está llevando a cabo la DGA, incorporando modernas herramientas de planificación participativa y de manejo del riesgo y la incertidumbre de uso estándar a nivel internacional.

134. Sin embargo, de manera más importante es necesario contar con una metodología sólida de planeación de infraestructura hídrica a partir de la situación de los recursos hídricos de la cuenca. Durante el análisis realizado se ha detectado que las necesidades de infraestructura hidráulica no se generan sistemáticamente a partir de un diagnóstico metodológico de la situación de la cuenca, sino que también pueden responder a solicitudes individuales, de grupos o a compromisos políticos. El proceso de cómo se generan y se definen estas iniciativas, que responden a propuestas de la sociedad, aún no está claro. Es decir, a la fecha, no existe un proceso que sistemáticamente analice estas iniciativas, y sus efectos en los recursos hídricos de la cuenca, antes de ser incorporadas como propuestas firmes y formar parte de los planes regionales. Es por esto que es necesario desarrollar e implementar un sistema de planeación a nivel de cuenca que permita desarrollar propuestas que respondan de manera eficiente a la situación de los recursos hídricos de la cuenca para favorecer el desarrollo de inversiones más eficientes, que resuelvan con mayor impacto los problemas locales. Es importante señalar que este proceso de planeación a nivel de

cuenca debe enmarcar el desarrollo de los Planes Regionales y los Planes Especiales, aportando información para la elaboración de esos planes y evaluando las propuestas de proyectos de infraestructura hidráulica en la cuenca.

135. Adicionalmente, un sistema de planeación por cuenca permitiría que la infraestructura proyectada se analice de manera integrada en una visión de conjunto, permitiendo identificar las relaciones entre los distintos proyectos de infraestructura y su efecto acumulado. Actualmente, los proyectos de infraestructura hidráulica se analizan de manera independiente (Riego, APR, Aguas Lluvia y Manejo de Cauces) lo cual no permite tener una visión del efecto conjunto y acumulado de estos proyectos sobre la cuenca.

136. Acerca de la participación social, si bien existen mecanismos que favorecen e incorporan la participación social dentro de los mecanismos de planeación existentes, a través de los cuales la sociedad y sus principales actores opinan y proponen proyectos de infraestructura hidráulica, es necesario fortalecer y definir con mayor claridad estos procesos. Para mejorar el proceso de toma de decisiones es necesario proveer un espacio para la participación de la sociedad para las ideas de proyectos se puedan construir de manera estructurada y conciliando intereses de los distintos involucrados. Actualmente, este proceso no está claramente definido. Adicionalmente a la definición de este proceso, es necesario informar a los participantes de la sociedad que se encuentran en este proceso, brindándoles apoyo y asesoría técnica para garantizar que las ideas propuestas tengan una base técnica sólida.

### **3.4.1.3 Planeación a corto plazo**

137. Los procesos de planeación a corto plazo que se revisaron contienen un gran detalle que permite un seguimiento cercano al desarrollo de los proyectos de infraestructura. Estos procesos constituyen principalmente un proceso de estructuración de la cartera de proyectos en la cual se ordena en el tiempo y de acuerdo a los recursos disponibles la cartera de iniciativas que han sido identificadas previamente.

138. Sobre estos procesos lo que es necesario fortalecer, y que es objeto del presente estudio, son los mecanismos existentes para la priorización de proyectos de la misma naturaleza (obras de riego, aguas lluvia, APR y manejo de cauces) y también para la priorización de la cartera general de proyectos, es decir entre proyectos de diversa naturaleza.

### **3.4.1.4 Desarrollo de obras de infraestructura hidráulica**

#### **Sobre las obras de riego:**

139. Como se ha mencionado con anterioridad, si bien la CNR se encuentra realizando un esfuerzo considerable en la elaboración de propuestas de desarrollo de infraestructura de riego mediante el desarrollo de estudios sectoriales a nivel de cuenca, es necesario garantizar la participación de los diversos sectores que intervienen en el desarrollo de la infraestructura hidráulica en la cuenca, mediante la participación de otras instituciones y de la sociedad para evitar que estos estudios tengan un sesgo sectorial. Es necesario también acompañar estos planes, y las iniciativas del desarrollo de infraestructura hidráulica no sólo de medidas estructurales (obras de ingeniería) sino también de medidas de gestión y de conservación de los recursos hídricos. Para mejor articular esta tarea se debe fortalecer el rol de la DGA como ente responsable de la planificación hidrológica en Chile abarcando todas las demandas y sectores.

#### **Manejo de cauces:**

140. Si bien se ha identificado que las obras que se refieren al manejo de cauces se estructuran alrededor de un plan maestro, lo cual es sumamente positivo, es necesario separar, al momento de estructurar la cartera de inversiones, los proyectos de manejo de cauces que responden ante emergencias y los proyectos que surgen del plan maestro, a través de una planeación ‘tradicional’. La mezcla de estos dos tipos de proyectos puede distraer a las instituciones responsables de ejecutar el plan y favorecer el desarrollo de proyectos que no están contemplados dentro del desarrollo del plan maestro, limitando los recursos disponibles para la ejecución del plan maestro, discriminando las medidas urgentes de aquellas que son importantes en el largo plazo.

141. Para este tipo de proyectos, durante el análisis realizado, las autoridades expresaron también la necesidad de mejorar la calidad de los planes de manejo de cauces, mejorando el conocimiento del terreno e identificando, a través de estudios más precisos, las zonas riesgo para traducir mejor las necesidades regionales a estos planes y tener que hacer frente a menos emergencias, y en consecuencia reduciendo el así el número de proyectos extraordinarios (fuera del plan). La evaluación adecuada de las dimensiones de peligrosidad, vulnerabilidad y riesgo incorpora la necesidad de hacer consideraciones sobre el ordenamiento territorial y el planeamiento del uso del suelo.

142. Durante el análisis de los procesos de priorización de este tipo de obras se comentó que los indicadores actuales usados para la priorización de estos proyectos no permiten una priorización adecuada ya que no reflejan adecuadamente los beneficios de esta tipo de infraestructura. Funcionarios del MOP

comentaron que como resultado de esta problemática, varios proyectos, necesarios desde su punto de vista, no han logrado ser aprobados para entrar en el SIN. La DOH ha presentado recientemente un nuevo manual de formulación de planes y proyectos de drenaje urbano que contribuirá grandemente en esta dirección.

#### **Aguas lluvia:**

143. Al igual que para las obras de gestión de cauces, las obras de evacuación y drenaje de aguas lluvia necesitan ser evaluadas mediante mecanismos más claros e indicadores que permitan evaluar de manera más adecuada los costos/beneficios de estas obras. De igual forma que para las obras de manejo de cauces, funcionarios del MOP comentaron que como resultado de esta problemática, varios proyectos, necesarios desde su punto de vista, no han logrado ser aprobados para entrar en el SIN.

#### **3.4.1.5 Priorización de infraestructura hidráulica**

144. En cuanto a los procesos de priorización de proyectos de infraestructura hidráulica se reconoce que han existido experiencias anteriores para priorizar proyectos de una misma naturaleza. Sin embargo, estas metodologías no están unificadas y no existen lineamientos claros ni una metodología oficial para su aplicación. Adicionalmente, se reconoce la necesidad, ya que aún no existe, de crear una metodología que permita la priorización de proyectos de infraestructura entre las diferentes carteras. Esto está en línea con los objetivos del presente estudio.

145. El desarrollo de la metodología de priorización de los proyectos de distinta naturaleza permitirá hacer una planeación de la inversión más equilibrada y más eficiente ya que de acuerdo con el análisis realizado para este estudio. Actualmente la distribución del presupuesto dentro de la DOH para la realización de las diferentes carteras de proyectos se distribuye siguiendo criterios tradicionales según los cuales se divide el presupuesto como sigue:

- Proyectos de riego: 40%
- Proyectos de Aguas Lluvia: 30%
- Proyectos de Manejo de Cauces: 30%

146. Esta asignación del presupuesto no es eficiente y podría generar que se dejen atrás proyectos muy rentables y de alto beneficio social, limitando, por otra parte, que se ejecuten proyectos no tan relevantes y poco eficientes en su inversión.

#### **4 MEJORES PRÁCTICAS INTERNACIONALES EN PROCESOS DE PLANEACIÓN Y DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA**

147. El problema de la priorización de inversiones en infraestructura que enfrenta la DOH es una instancia de decisión que debe ser precedida por la tarea de planificación hídrica que debe cubrir la escala nacional, regional y de cuenca. En ese ejercicio, las metas, objetivos o condicionantes constitucionales y legales del país permiten identificar objetivos de desarrollo ambiental, económico y social que marcan el andarivel sobre el cual se debe planear las acciones en el ámbito hídrico. Si bien en la legislación actual chilena no existe un régimen de planificación hídrica explícito es clara la necesidad de contar con planes a nivel de cuenca que traduzcan la política y estrategia del agua a nivel de unidad hidrológicas específicas estableciendo ofertas y demandas e identificando y ordenando las acciones estructurales y no estructurales necesarias para alcanzar los objetivos de desarrollo.

148. La planificación hídrica se entiende en este caso como un proceso continuo y dinámico que establece las disponibilidades y restricciones existentes en un ámbito hidrológico determinado basada, en principio, en las demandas que plantean los distintos sectores en planes más o menos explícitos (riego, energía, protección ambiental, desarrollo urbano, turismo, etc). El Plan Hidrológico a su vez determinara, haciendo las evaluaciones, modelaciones y proyecciones que surjan de los estudios y consultas públicas del caso, la posibilidad de atender esas demandas. El resultado de ese ejercicio serán las restricciones que el sistema hídrico pueda “imponer” a las metas de cada sector. A su vez, en un proceso iterativo el Plan Hidrológico buscara las medidas estructurales y no estructurales que mejor atienden las demandas de los distintos sectores identificando los tiempos y costos que puede implicar la ejecución de esas medidas. Esta actividad de planificación hidrológica en Chile le corresponde a la Dirección General de Aguas tarea que ha venido cumpliendo con serias limitaciones y que hoy aborda en el marco de la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos (MOP, 2012) y de planes a nivel de cuenca que se encuentran en prearacion en cuencas prioritarias. Esta es una de las funcione críticas que recientes estudios institucionales del Banco sobre el sector han destacado como prioritarios. Una labor efectiva de planificación y su consiguiente implementación estarán entonces dirigidas a lograr el alineamiento de las iniciativas públicas regulatorias y de inversión del Estado y orienta las de carácter privado (entendiendo el carácter orientativo de la planificación en relación con la actividad de los privados).

149. En todos los casos un Plan Hidrológico (PH) establece como mínimo las medidas que son responsabilidad de la Administración y que generan las condiciones para que los privados desarrollen su actividad, realiza la evaluación de los recursos disponibles en diferentes horizontes de tiempo y el modo



en que se pueden atender las demandas de los derechos existentes así como las demandas ambientales y para la protección de la biodiversidad. En muchos países el resultado de los PH individuales es integrado en Planes regionales y nacionales del agua que proponen las intervenciones principales a realizarse en materia institucional y de infraestructura en un horizonte de tiempo definido. Un proceso de planificación hídrica busca generar las instancias de estudio, discusión y debate con la participación de los muchos actores en el tema del agua que deben alimentar la toma de decisiones.

150. El principal producto de este proceso de planificación hidrológica son las intervenciones o proyectos que hacen falta y que debe implementar cada sector. El conjunto de proyectos de infraestructura que necesita cada sector constituyen planes sectoriales en la cuenca que deben estudiarse, evaluarse y priorizarse en forma separada tal como lo propone abordar la DOH para sectores clave tales como infraestructura de riego, manejo de cauces y gestión de drenaje urbano (aguas lluvia). En conclusión la priorización de inversiones en infraestructura requiere necesariamente de un ejercicio de planificación hidrológica previa que contempla la participación y atiende necesidades de todos los sectores.

151. Durante el desarrollo de estudio se reviso la experiencia internacional en materia de planificación hidrológica y de priorización de inversiones utilizando técnicas de análisis multicriterio que son las herramientas sobre las cuales existe experiencia y capacidad local. Claramente la experiencia y cultura hídrica de cada país hace que haya distintos regímenes y sistemas de planificación, donde los resultados pueden ser de carácter indicativo o bien prescriptivo al punto que no hay actuaciones autorizadas fuera del Plan como es el caso de México, en donde cada seis años se elabora un Plan Nacional Hidráulico con metas, indicadores y proyectos perfectamente definidos. En todos los casos la tendencia internacional en los últimos años es la de crear, más que planes estáticos obligatorios, la de proveer la información y crear mecanismos continuos de toma y evaluación de decisiones basados en una profunda participación y consulta a sectores y actores.

152. Una síntesis de la experiencia internacional, que es relevante para el contexto chileno (Australia, Estados Unidos, Francia, Alemania y España), descrito en el “Estudio para el Mejoramiento del Marco Institucional para la Gestión del Agua” preparado por el Banco Mundial en junio de 2013, se incluye en el Anexo 8. Sin embargo, a continuación se presentan las características principales de los sistemas de planeación en Australia, España y Francia.

## 1. El caso de Australia

153. Para comprender el sistema Australiano de planeación hídrica es necesario entender que Australia es un país federal, donde el derecho fue originariamente inglés, ribereño con derecho a un uso razonable y el agua publica (Young v Bankier Distillery Co [1893] AC 691). Y luego se exige una licencia que otorgan los estados particulares, sobre cuencas comunes, en forma individual (McKay, 2008) Cada estado tiene su propio arreglo institucional (Oecd, 2011).

154. En la búsqueda de alternativas sustentables para el manejo del agua, la Ley de Aguas de 2007 (con reformas en 2008) creo una Autoridad de Cuenca del Murray Darling, (MDBA) para manejar el agua en interés nacional. Como su nombre lo indica en forma clara la Autoridad tiene como base hidrológica la cuenca del Murray Darling (McKay, 2008) La Autoridad tiene las funciones y poderes, incluidos poderes de ejecución forzada, necesarios para asegurar que los recursos de la Cuenca sean manejados en forma integrada y sustentable. La Autoridad supervisa la planificación, considerando la cuenca como un todo, mas que como una fragmentación estado por estado.(Australian Government, Key Features Australian Water Act, 2007)

155. La MDBA tiene a su cargo funciones de estrategia, establecimiento de prioridades, y planificación, tareas que comparte con el Ministerio (Department) de Ambiente, Agua, Patrimonio (Heritage) y Artes, (Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA)) Ambos son responsables por desarrollar e implementar las políticas.

156. La MDBA tiene que crear un Plan para la Cuenca, y esta prohibido llevar a cabo actos inconsistentes con el Plan, sea por la Autoridad misma, las autoridades operativas, un operador de infraestructura o el beneficiario de un derecho de aguas (sect. 37 Water Act). Esto da valor jurídico al Plan.

157. El Plan para la cuenca debe tomar en cuenta los principios del desarrollo ecológicamente sostenible, actuar sobre las bases del mejor conocimiento científico y análisis socioeconómico disponible y tomar en consideración: Iniciativa Nacional de Aguas; usos económicos del agua de la cuenca; usos consuntivos; diversidad y variabilidad de los recursos hídricos y la necesidad de adaptar su manejo a estas características; l objetivos de manejo vinculados a recursos específicos; cuestiones sociales, culturales, indígenas y otros beneficios públicos; otros procesos de planificación regional vinculados al manejo de recursos naturales; impactos del plan sobre aguas fuera de la cuenca; efectos del manejo de recursos fuera de la cuenca sobre aguas de la misma; y los acuerdos para distribución de aguas entre estados.

158.

159. El Plan de la MDBA se complementa con un planes estatales, los que deben ser congruentes con el Plan, e incluye aguas superficiales y subterráneas; límites de extracciones sustentables; riesgos para los recursos de la cuenca, como cambio climático, y estrategias para su manejo; plan para facilitar agua con propósitos ambientales; planes sobre salinización y calidad de aguas, y reglas para el comercio de derechos.

#### **4. El caso de España**

160. Los principios rectores de la gestión en materia de aguas incluyen: a) Unidad de gestión, tratamiento integral, economía del agua, desconcentración, descentralización, coordinación, eficacia y participación de los usuarios, b) Respeto a la unidad de la cuenca hidrográfica, de los sistemas hidráulicos y del ciclo hidrológico, c) compatibilidad de la gestión pública del agua con la ordenación del territorio, la conservación y protección del medio ambiente y la restauración de la naturaleza.

161. En el caso de España, se establece un Consejo Nacional de Aguas, con propósitos de integración y conciliación de planes y programas.

162. La Dirección General del Agua, es responsable de:

(1) la elaboración del Plan Hidrológico Nacional, de la normatividad sobre los Planes de Cuenca y de su coordinación con los planes sectoriales;

(2) el sistema de información de los recursos hídricos;

(3) la coordinación de los planes de emergencia;

(4) la inspección y el control de seguridad de las infraestructuras hidráulicas;

(5) el establecimiento de los criterios para la conservación de los acuíferos;

(6) el impulso y fomento de las actividades de depuración y reutilización de las agua depuradas y, en general, de todas las medidas destinadas a favorecer el ahorro del agua.

163. Los organismos de gestión fundamentales son los de cuenca, nominados Confederaciones Hidrográficas. Dependen administrativamente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Son autónomos y ponen fin a la vía administrativa.

164. Estos organismos, creados desde 1926, tenían inicialmente como papel principal la construcción de infraestructura hidráulica. En las últimas décadas su papel ha cambiado hasta la protección y el uso sostenible del agua, una tendencia que se ha reforzado con la implementación de la directiva marco del agua de 2000 de la EU en España. Los organismos de cuenca tienen varios órganos consultivos para aumentar la participación de los usuarios en la toma de decisiones. La gran mayoría de los organismos de cuenca son Confederaciones Hidrográficas, en cuencas que incluyen varias comunidades autónomas, que están bajo la tutela del Ministerio. Las Confederaciones Hidrográficas son parte de la administración del Estado y al mismo tiempo son herramientas para la toma de decisiones participativas al nivel local y de la cuenca

165. Sus funciones incluyen: a) La elaboración del plan hidrológico de cuenca, así como su seguimiento y revisión, b) La administración y control del dominio público hidráulico, c) La administración y control de los aprovechamientos de interés general o que afecten a más de una Comunidad Autónoma, d) El proyecto, la construcción y explotación de las obras realizadas con cargo a los fondos propios del organismo, y las que les sean encomendadas por el Estado, e) Las que se deriven de convenios.

166. La planificación hidrológica tiene por objetivos generales conseguir el buen estado ecológico del dominio público hidráulico y la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

167. La planificación se realiza mediante los planes hidrológicos de cuenca y el Plan Hidrológico Nacional. El ámbito territorial de cada plan hidrológico se determina reglamentariamente.

168. Los planes hidrológicos son públicos y vinculantes, sin perjuicio de su actualización periódica y revisión justificada, y no crean por sí solos derechos en favor de particulares o entidades, y se elaboran en coordinación con las diferentes planificaciones sectoriales.

## **169. 5. El caso de Francia**

170. Las practicas francesas de seguimiento de políticas y planes se encuadran en el contexto de la Unión Europea y sus principios. En lo que hace a la Unión Europea la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE requiere planes de gestión y programas de medidas por demarcación hidrográfica.

171. La política francesa se basa en los siguientes principios:

a) manejo descentralizado por cuencas conforme los principios de manejo integrado. Se toman en cuenta todos los usos del agua, las necesidades de los ecosistemas, la prevención de contaminación, y el control de riesgos naturales y accidentes,

b) organización de diálogos y coordinación de acciones, tareas que son llevadas a cabo por el Comité de Cuenca y el Prefecto-Coordenador,

c) cobros según consumo de aguas y contaminación en base a los principios de contaminador pagador, usuario pagador, y el agua paga por el agua. Los pagos se efectúan a las agencias de cuenca, que usan los fondos para estudios y acciones para mejorar los recursos hídricos y el ambiente acuático,

d) programas plurianuales de planificación y programación, con objetivos y prioridades para la cuenca (Department of The Commissioner General for Sustainable Development, 2012).

172. Estos principios se implementan a través de mecanismos participativos, de financiación, de planificación y por la administración central del estado, a la cual le corresponde la entrega y control del uso del agua.

173. Si bien los contextos de planeación hidráulica de los países que se han analizado son diferentes, estos sistemas de gestión comparten características similares como es la planeación por cuenca y la vigilancia de la participación de todos los usuarios del agua dentro de la planeación hidráulica en la cuenca. Se comparte también la visión sobre la necesidad de crear un plan de gestión de los recursos hídricos por cuenca que se vincule y permita coordinar las intervenciones en la cuenca.

**Adicionalmente a la revisión de la experiencia internacional en temas de planeación hídrica en general , como parte de la asistencia técnica del Banco a la DOH se realizó un taller para discutir los avances del estudio, revisar la experiencia internacional y evaluar los lineamientos de la metodología de priorización aplicable al caso de Chile. En ese evento participaron el Dr. David Yates investigador del National Center for Atmospheric Research (NCAR) de Estado Unidos y del Dr. Baris Yimaz de la Celal Bayar University de Turquía. Ambos expertos realizaron un detallado de los métodos disponibles para abordar el caso de la DOH, presentaron experiencias en otros casos semejantes, destacaron aspectos de la vinculación del proceso de planificación, simulación hidrológica para evaluar escenarios de inversión (usando mayormente WEAP) combinados**

**con la utilización de métodos multicriterio para analizar carteras de proyectos complejas. El anexo 10 incluye los reportes preparados por ambos expertos resultado de su asistencia a la DOH.**

## **5 UN CASO DE ESTUDIO: CUENCAS LA LIGUA Y PETORCA**

174. Para poder comprender mejor la articulación de los distintos mecanismos de planeación existentes y las limitaciones para su aplicación, se realizó el análisis de un caso concreto para las cuencas Ligua y Petorca. Este análisis ha permitido identificar de una manera más realista cuales son las necesidades de mejora de los procesos de planeación y entender las limitaciones y ventajas que puede tener la aplicación de los mismos a un caso real.

### **5.1 Características generales de las cuencas Ligua y Petorca**

175. Las cuencas Ligua y Petorca se localizan en la Provincia de Petorca en la Va Región de Valparaíso (**Figura 5.2.1.1d.**). Estas cuencas limitan al norte con la cuenca del río Choapa, perteneciente a la IV Región, y en el sur con la cuenca del río Aconcagua, de la misma Región de Valparaíso.

#### **5.1.1.1 Características físicas**

176. Las cuencas tienen características hidrológicas similares, con superficies totales de 2016 km<sup>2</sup> en La Ligua y de 1979 km<sup>2</sup> en Petorca. A pesar de extenderse hasta la cordillera, no poseen gran aporte nival, definiéndose un régimen principalmente pluvial y con fuertes estiajes de verano, como se puede apreciar en los registros de las tres estaciones fluviométricas existentes en Petorca, correspondientes a Sobrante en Peñadero, Petorca en Peñón y Petorca en Longotoma y, en las dos estaciones fluviométricas del río La Ligua, Alicahue en Colliguay y Ligua en Quinquimo.

**Fig. 5.1.1.1a.- Hidrografía de la zona de estudio y estaciones fluvionetricas**

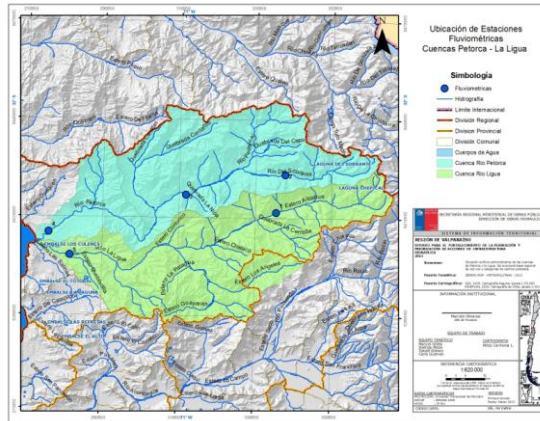


Figura 5.1.1.1b.- Caudales medios mensuales - cuenca Ligua

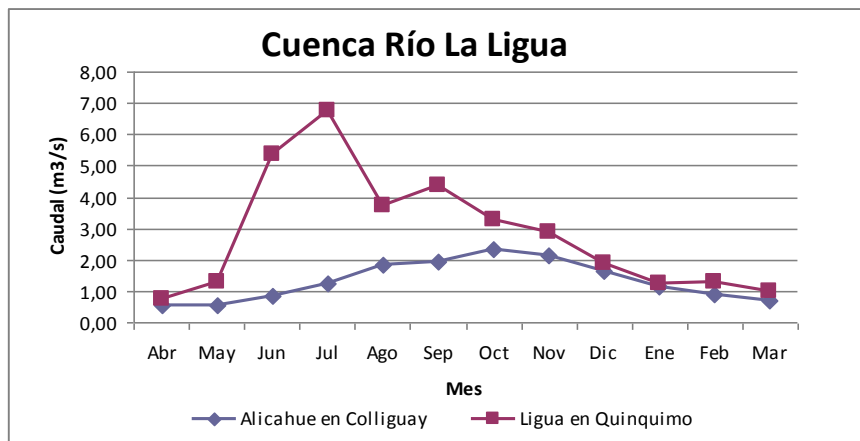
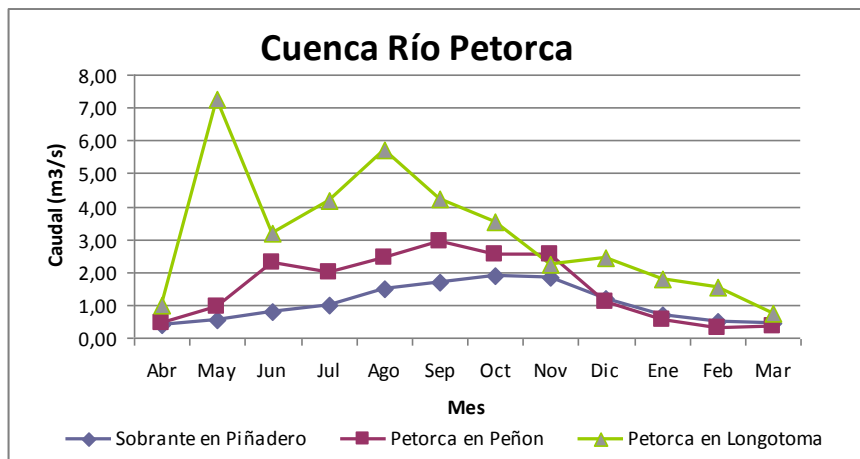
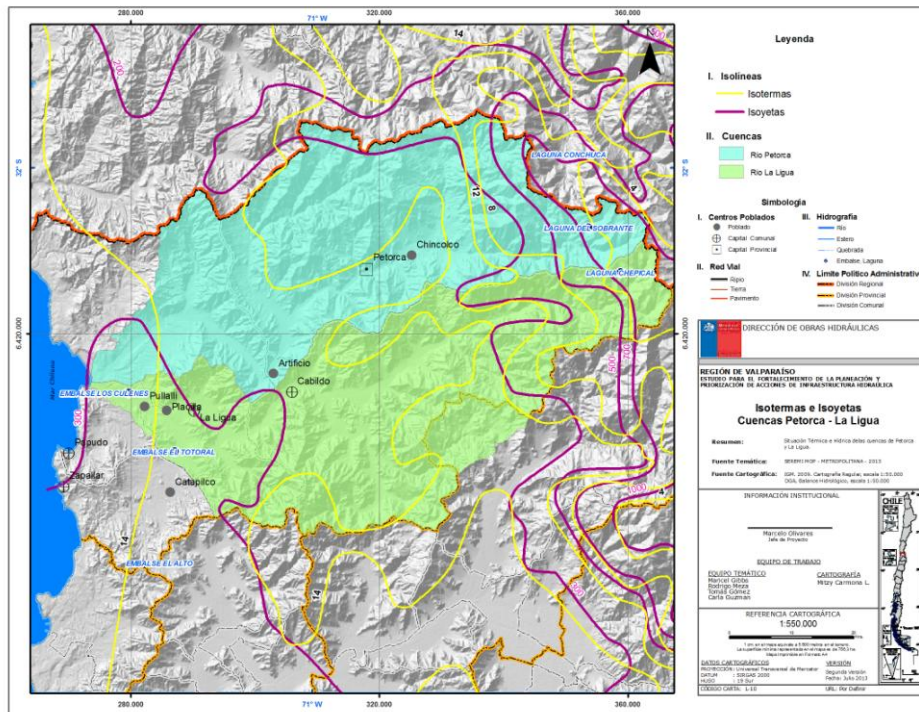


Figura 5.1.1.1c.- Caudales medios mensuales - cuenca Petorca



177. La precipitación media (1976-2013) en la cuenca de Petorca es de 204,2 mm, mientras que las precipitaciones mínimas y máximas son 40,9 mm y 548,2 mm respectivamente. En la cuenca de La Liga, la precipitación media (1976-2013) es de 274,7 mm, las precipitaciones mínimas y máximas son 62,3 mm y 723,1 mm respectivamente. En la Figura 5. se presentan las isolíneas de precipitación y temperatura. En el área se cuenta con un número importante de estaciones meteorológicas y pluviométricas, no obstante sólo dos fueron de utilidad en el presente estudio por tener problemas de consistencia o falta de información, como se explica más adelante. Las únicas estaciones pluviométricas utilizadas, que contaban con información confiable son estaciones DGA y corresponden a Alicahue en la cuenca del río Petorca y El Sobrante en Hacienda en la cuenca del río La Liga.

178. Respecto al registro de temperatura, en la zona de estudio, existe solo una estación DGA con registro de temperaturas, la estación Alicahue, ubicada en el sector alto de la cuenca del río La Liga. Las temperaturas media, máxima y mínima registradas son 14-16°C, 26-29°C, y 4,5-6,3°C respectivamente.



**Figura 5.1.1.d.** Ubicación cuencas ríos La Liga y Petorca.



179. El marco geológico regional, en el cual se emplazan las cuencas La Ligua y Petorca, está constituido principalmente por rocas estratificadas sedimentarias, volcánicas volcano-clásticas de origen continental-marino e intrusivas, que van desde el Paleozoico al Terciario Superior (CNR, 2011).

180. En la zona de estudio se identificaron dos unidades acuíferas: una Unidad Acuífera Superior correspondiente a los depósitos fluviales-aluvionales de terrazas recientes y a los depósitos fluviales actuales, que representa a la principal unidad acuífera de ambos valles, compuesta por arenas y gravas (DOH, 2003), conformando un acuífero libre y; una Unidad Acuífera Profunda correspondiente a los depósitos ubicados en la parte profunda y a los depósitos fluviales-aluvionales de terrazas antiguas, formando en la mayor parte del área de estudio un acuífero confinado, y sólo en la parte baja, cerca del mar, un acuífero confinado, donde las arcillas y limos confinan a los depósitos granulares (DOH, 2003).

181. En la Unidad Acuífera Superior el nivel de agua se encuentra, en general, entre 7 y 8 m bajo el nivel de la superficie. Los niveles más superficiales se encuentran en la parte baja de la cuenca, cerca de la confluencia con el río Petorca, mientras que los más profundos son captaciones en las que el agua se encuentra hasta a 34 m de profundidad (DOH, 2006).

182. En la unidad acuífera profunda, el agua se encuentra a menos de 10 m de profundidad, en general, excepto en el sector de la confluencia con el estero Las Palmas y hacia aguas arriba por este cauce, donde se encuentra hasta a 57 m de profundidad (DOH, 2006)

183. A pesar de contar con esta información, las características geológicas de las cuencas, no se ven reflejadas correctamente en los estudios realizados hasta la fecha. Ejemplos prácticos de esto es el reporte de pozos muy cercanos con fuertes diferencias en sus niveles. Se subraya la necesidad de contar con estudios geofísicos que aclaren la incertidumbre respecto de almacenamiento y flujos subterráneos. Adicionalmente subsiste una incertidumbre considerable respecto al número de pozos en explotación y del volumen de extracciones clandestinas.

184. Finalmente, se revisó el tema de la calidad del agua en la zona de estudio, concluyendo que en lo que se refiere a problemas de contaminación del agua superficial no existen a la fecha problemas relevantes.

#### **5.1.1.2 Impactos del Cambio Climático**

185. Un informe de 2008 de la Comisión Nacional de Medio Ambiente, señala que en lo que se refiere a los recursos hídricos, se espera una alta vulnerabilidad a eventos extremos, un alto impacto en la

disponibilidad energética del país por anomalías asociadas a El Niño y La Niña, y restricciones a la disponibilidad hídrica y demandas de irrigación en Chile Central. Por otro lado, otros estudios, mencionados en este mismo documento, han señalado el daño potencial en la disponibilidad de agua y servicios sanitarios en ciudades costeras, y contaminación de acuíferos subterráneos, por intrusión salina. En relación a los glaciares, CONAMA, 2008 indica una disminución dramática de su volumen en décadas pasadas, siendo el sur de nuestro país una de las zonas más afectadas.

186. Con estos antecedentes, se plantea como necesario considerar los efectos que el cambio climático puede tener en la zona de estudio, y así tener una referencia respecto a la vulnerabilidad de la planificación de infraestructura hidráulica frente al cambio climático, ya que además de la necesidad de agua para consumo humano, hay una gran parte de los sectores productivos de la región de Valparaíso que dependen de la disponibilidad de recursos hídricos, su uso racional y su distribución en el tiempo.

187. Se han revisado también otros estudios como el trabajo realizado por DGF (2006) utilizó para el análisis de los datos el programa computacional PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies), desarrollado por el Hadley Center.

188. Los resultados de DGF (2006) para el período de (2011-2030), en torno a la región de Valparaíso, indican un calentamiento leve (en torno a 1°C). En relación a la precipitación, las figuras incluidas en el estudio de DGF (2006) no muestran variaciones significativas en torno a la región de Valparaíso, para el período intermedio cercano (2011-2030).

189. A nivel de impactos, el sector silvoagropecuario es uno de los sistemas socioeconómicos que presenta mayor relación con los fenómenos climáticos.

190. Agrimed (2008), estudio en el cual se basa MMA (2011), presenta sus resultados en la forma de mapas de Chile, definiendo por medio de colores los efectos del cambio climático. Para estimar la sensibilidad de los cultivos en riego, Agrimed (2008) consideró las variaciones porcentuales en los rendimientos de cinco cultivos representativos (maíz, trigo, papa, frejol y remolacha). La suma de estas variaciones fue ponderada por la superficie total de todos los cultivos en riego, en cada comuna. Es decir, se está asumiendo que el rendimiento del resto de los cultivos puede ser homologado a alguno de estos cinco cultivos representativos.

191. El análisis del mapa que entrega Agrimed (2008) da cuenta de una disminución moderada del rendimiento de los cultivos en la región de Valparaíso, con algunos sectores menores donde la

disminución es alta (en el valle central) y otros con un aumento moderado del rendimiento (hacia la precordillera de Los Andes).

192. Agrimed (2008, citado en MMA, 2011) señala que las zonas agrícolas más vulnerables, desde la perspectiva social, son aquellas donde hay mayor concentración de agricultura y de población con bajo índice de desarrollo humano (IDH). En este sentido, la zona de estudio presentaría un alto grado de vulnerabilidad social, en su sector agrícola, frente a un escenario de aumento de temperaturas y disminución de las precipitaciones.

193. Cabe señalar que a pesar de estos estudios, no se identificaron medidas de adaptación (proyectos, guías, metodologías) en la zona para hacer frente a estos posibles impactos. Adicionalmente, es importante señalar que los mecanismos de planeación actuales no toman en cuenta consideraciones de cambio climático para la generación de proyectos que permitan la adaptación puntual a estos impactos.

### 5.1.1.3 Características sociales y económicas de las cuencas

194. La población económicamente activa de igual o superior a 15 años de edad, llega a 22.064 personas para el total de las comunas del área de estudio, de las cuales 18.803 personas (50,23% del total) se encuentran ocupados en las diferentes ramas de la actividad económica (CNR, 2004). Por otra parte, la población no económicamente activa total, alcanza a las 21.862 personas, siendo en su mayoría mujeres (CNR, 2004). Las principales actividades económicas de la zona son la agricultura, el comercio y la minería.

195. Se destaca la importante transformación que han tenido las cuencas en los últimos años, pasando de ser una zona rural, con pequeña participación de la minería, a una zona con una alta explotación agrícola de exportación. Estos cambios productivos han ido acentuando la competencia por el recurso agua en ambas cuencas en estudio.

196. De acuerdo con un estudio de la CNR de 2011, las aguas subterráneas con la principal fuente de abastecimiento de las cuencas. Los volúmenes de extracción estimados por la CNR por tipo de captación se presentan en la Tabla 5.1.1.2a.

**Tabla 5.1.1.2a.** Usos del recurso hídrico, en volumen (millones de m<sup>3</sup>/año) y según tipo de uso.

Tipo de uso	La Ligua	Petorca
Riego	27,6	15,6

Agua Potable	5,3	1,2
Otros	2,7	2,3
Total	35,6	18,1

197. La tendencia creciente del sector agrícola, se ve afectada por la deficiente o nula organización de los usuarios y por la restringida oferta del recurso en las zonas de estudio. En efecto, en materia de asignación de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas (DAA), se debe destacar que los acuíferos del valle del río La Ligua y río Petorca se han declarado zonas de restricción para nuevas explotaciones de aguas subterráneas, conforme a lo señalado en las Resoluciones DGA N°216 de abril de 1997 y DGA N°204 de Mayo del 2004, respectivamente. Lo anterior, sumado a la escasez de agua observada en la zona en los últimos años<sup>15</sup>, evidencia la creciente competencia por el recurso en el área de estudio.

198. La información disponible de uso de suelos en la región y en la zona de estudio proviene de tres fuentes principales: catastro de CONAF (1999), el catastro de Gajardo (1994) y las clases de suelo de CIREN (1997).

199. De este catastro se desprende que la cuenca de la Ligua cuenta con un área de 12.894 hectáreas clasificadas como agrícolas, y del orden de las 846 hectáreas de zonas urbanas e industrial. Por su parte, la cuenca del río Petorca presenta 9.628 hás. agrícolas y 338 hás. de zonas urbanas e industriales. La superficie restante de las cuencas se caracterizan como praderas y matorrales.

200. En lo que se refiere a la superficie de cultivos por comuna, se realizó una actualización al 2013 mediante un análisis basado en catastros disponibles, análisis cartográfico de imágenes satelitales (disponibles en el mercado), y una verificación a partir de trabajo de campo. Los principales resultados se describen a continuación y un detalle del catastro puede encontrarse en el Anexo 3.

**Tabla 5.1.1.2b. Resumen de superficie (ha) de cultivos bajos, por comuna.**

Comuna		Cabildo	La Ligua	Papudo	Petorca	Putendo
Tipo de cultivo						

<sup>15</sup> La provincia de Petorca es declarada como zona en escasez en diciembre de 2012 por un período de seis meses en Decreto MOP 362, 2012.

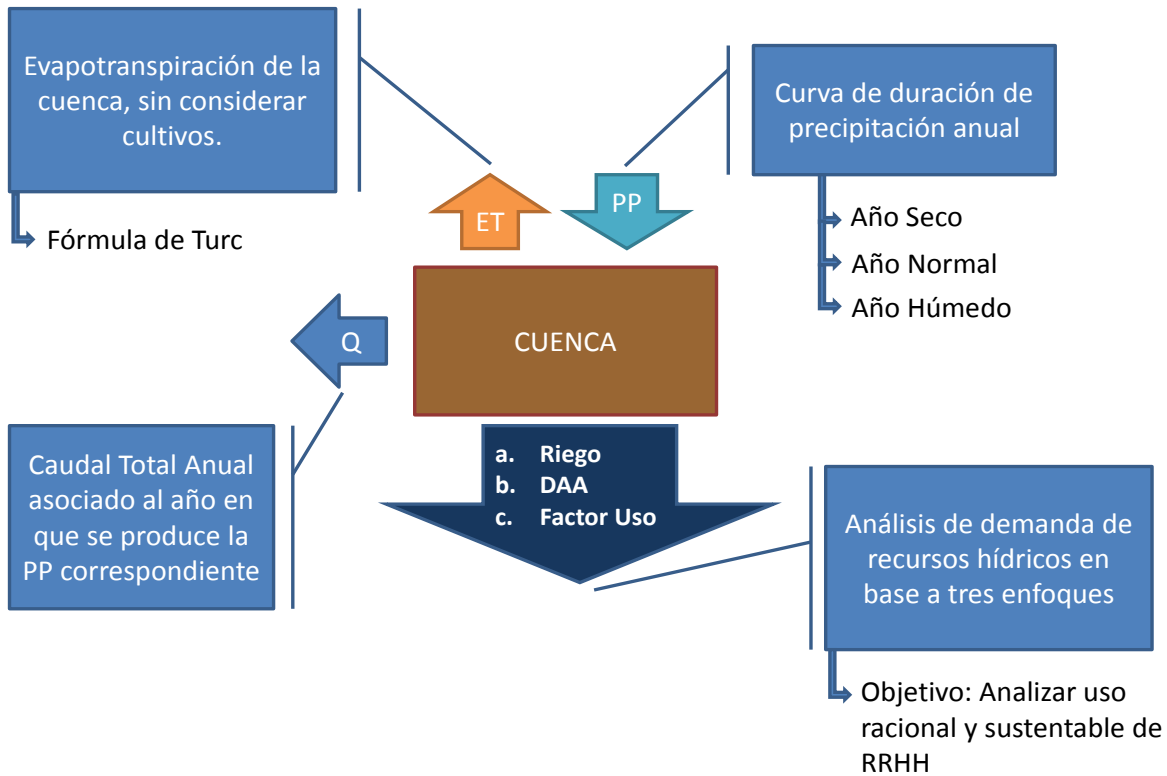
Flores al aire libre	0	118.22	418.63	0	0
Flores en invernadero	15.21	135.08	3.01	3.55	0
Barbecho	48.00	311.43	12.02	116.54	0
Rotación de cultivos	2131.21	1607.97	301.70	843.13	5.50
<b>Total</b>	<b>2194.42</b>	<b>2172.70</b>	<b>735.36</b>	<b>963.22</b>	<b>5.50</b>

201. En cuanto a frutales, se encontró una gran variedad de plantaciones / cultivos, en los que predominaron las superficies de Paltos, con 10.561,2 ha. También se encontraron Cítricos (981,6 ha), Nogales (652,8 ha), Almendros (314,53 ha), entre otros.

## **5.2 Balance hídrico en las cuencas La Ligua y Petorca**

### **5.2.1.1 Metodología**

202. El análisis planteado consiste en caracterizar la precipitación total por cuenca, determinando así distintas probabilidades de excedencia para cada año. De esta forma, el balance hídrico busca describir el comportamiento de la cuenca, dado un escenario de demanda actual (derechos de agua y superficie cultivada actual) y distintos escenarios de lluvia (seco, normal o húmedo). Es relevante aclarar que el volumen de control considerado para el balance incluye tanto la cuenca superficial como su contraparte subterránea. En este sentido, los flujos que ocurren al interior del volumen de control, como la proporción de la precipitación que contribuye a la recarga del acuífero, no quedan representados en el balance.



**Figura 5.2.1.1a.** Esquema conceptual del balance realizado en La Ligua y Petorca y aproximaciones consideradas.

203. Para representar el esquema conceptual definido en la Figura 5.2.1.1a, se ha considerado la siguiente ecuación de balance hídrico anual, representativa de una cuenca cualquiera:

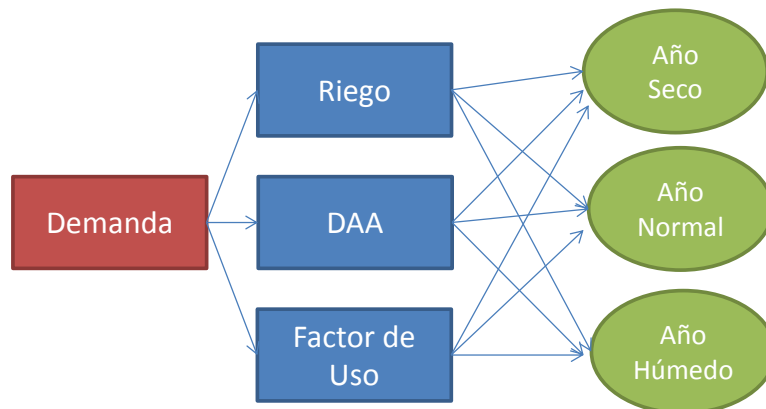
$$204. \quad \Delta = P - D - ET_{real} - Q_s \quad \text{Ecuación 0-1}$$

Donde:

- $\Delta$  : Variación anual del almacenamiento total (superficial y subterráneo).
- P : Precipitación total anual sobre la cuenca.
- $Q_s$  : Caudal total anual de salida de la cuenca.
- D : Demanda antrópica total anual de agua.
- ET : Evapotranspiración real total anual de la cuenca.

205. La Figura 5.2.1.1b muestra el esquema de escenarios que se analiza en este balance. Se considera tres escenarios de demanda para el análisis: (i) estimada por derechos de aprovechamiento de agua

existentes (DAA), (ii) aplicando un factor de uso al uso de los DAA existentes, y (iii) estimación a través de la demanda de riego. Para cada uno de los escenarios se analiza lo que sucede en años seco, normal y húmedo. Cabe señalar que la demanda D, en el caso del riego, no incluye la demanda de agua potable y usos industriales, entre otros. Esto implica una aproximación conservadora de la demanda, pero se justifica en la escala espacial considerada, donde dichas demandas pueden ser consideradas despreciables, frente a la demanda de riego.



**Figura 5.2.1.1b.** Escenarios de análisis de las demandas consideradas en el balance.

206. El término definido por la variable delta ( $\Delta$ ), representa la variación del almacenamiento total, considerando las componentes subterránea y superficial. Si se considera que la componente superficial puede aproximarse a cero, que es consistente con lo que se observa en los últimos años en ambas cuencas, el delta ( $\Delta$ ) representaría la variación de almacenamiento subterráneo.

207. Si la variación del almacenamiento ( $\Delta$ ) es positiva, significa que la precipitación es mayor a la suma de las demandas evapotranspirativas, tanto de cultivos como de cobertura natural, más la escorrentía superficial. Si ocurriera esto, se debiera ver reflejado en un aumento de los niveles de acuíferos, e incluso en la existencia de escorrentía superficial.

### 5.2.1.2 Estimaciones de precipitación, caudales y evapotranspiración

208. El proceso de realización del balance ha considerado la información de precipitación y registros fluviométricos de la DGA. También se utilizó información de modelación de la cuenca por parte de la DOH de 2006.

209. Para este balance se utilizarán las estaciones fluviométricas de salida de cada cuenca (Ligua en Quinquimo y Petorca en Longotoma), bajo el supuesto de que el caudal medido en ellas se aproxima al exceso de precipitación y derrames de riego, una vez que se ha satisfecho la demanda de la cuenca respectiva y se han producido todas las pérdidas (ET y percolación profunda). Para distribuir la precipitación en cada cuenca, se utilizaron polígonos de Thiessen.

210. Respecto a la evapotranspiración, En la zona de estudio se cuenta con datos de evapotranspiración de referencia (ET<sub>0</sub>), los cuales pueden ser utilizados para estimar la evapotranspiración real de los cultivos (ET<sub>cul</sub>). Los datos de ET<sub>0</sub> son bibliográficos y provienen de DOH (2012a y 2012b). Los coeficientes de los cultivos (k<sub>c</sub>) se encuentran en el Anexo 2. Las áreas de los cultivos se actualizaron para el año 2013 con se describió anteriormente.

211. Así, las pérdidas evapotranspirativas de los cultivos se estima a partir de las siguientes ecuaciones:

$$212. \quad ET_{cul} = ET_0 \cdot k_c \quad \text{Ecuación 0-2}$$

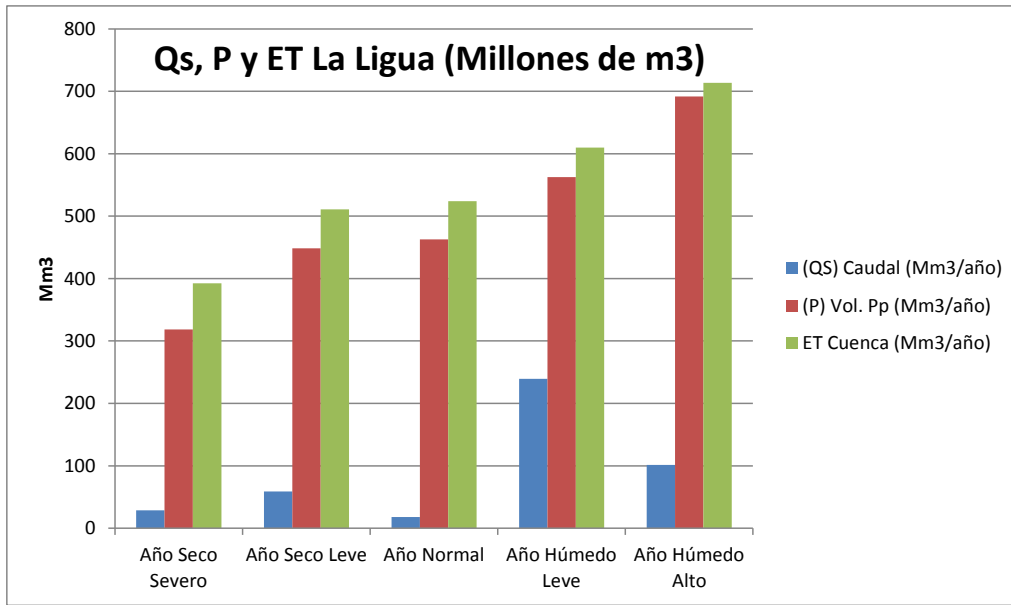
$$213. \quad \text{Vol. Pérdidas Evapotrans. de los cultivos} = \text{Área Cultivos} \cdot ET_{cul} \quad \text{Ecuación 0-3}$$

214. Finalmente, la demanda evapotranspirativa total de cada cuenca se ha calculado como la suma entre el volumen de pérdidas asociado al área de los cultivos y la pérdida general de la cuenca (empleando la fórmula de Turc), restando al área de cada cuenca, la superficie de los cultivos para el año 2013.

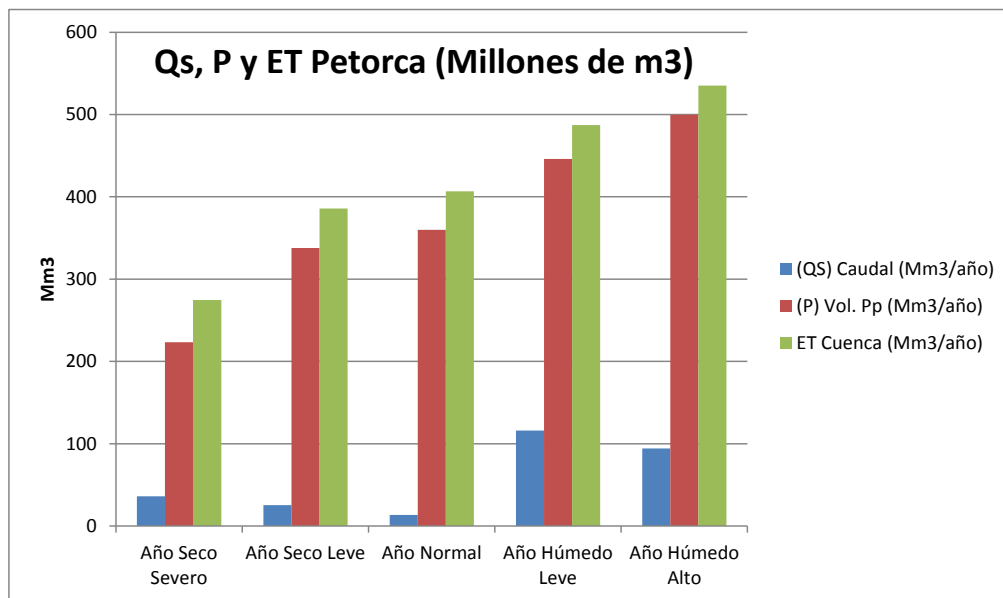
$$215. \quad ET_{realTotal} = \text{Vol. Pérdidas Evapotranspirativas cuenca no cultivada} + \text{Vol. Pérdidas Evapotranspirativas de los cultivos} = \text{Área de cuenca (sin cultivos)} \times ET_{cue} + \text{Área Cultivada} \times ET_{cul}$$

216. Los resultados de las estimaciones de precipitación, escurrimiento y evapotranspiración se muestran en los gráficos siguientes





**Figura 5.2.1.2a.** Estimaciones de precipitación, escurrimiento y evapotranspiración para La Ligua.



**Figura 5.2.1.2b.** Estimaciones de precipitación, escurrimiento y evapotranspiración para Petorca.

### 5.2.1.3 Estimaciones de la demanda

#### Balance en Base a Derechos de Agua

217. Para la estimación de la demanda de agua con base en derechos, se diferenciaron entre demandas superficiales (DSUP) y subterráneas (DSUB), a partir de los derechos de aprovechamiento de agua (DAA) que poseen información de caudales otorgados y que se encuentran disponibles a la fecha, en los estudios consultados.

218. Desde el punto de vista superficial, se consideran 51 bocatomas en la cuenca del río La Ligua y 63 en la cuenca del río Petorca, indicadas en el estudio de la DGA (2006). Se han considerado para este balance que los DAA corresponden a usos consuntivos, permanentes y continuos ya que no existe información disponible que permita realizar un supuesto diferente. En total, se han otorgado 6.855,4 l/s en La Ligua y 4.663,8 l/s en Petorca, de DAA superficiales (DSUP).

219. Cabe señalar que estos caudales superficiales otorgados en la zona de estudio no corresponden al universo total de DAA, pues el catastro de solicitudes constituidas, indicadas por DGA (2006), muestra una serie de derechos de agua aprobados que no poseen coordenadas geográficas y que, por lo tanto, no han sido considerados en este balance hídrico en base a derechos. La Tabla presenta un resumen de las solicitudes presentadas a diciembre de 2005 que entrega DGA (2006), el número de aprobadas, con coordenadas y con caudal conocido. Al final de la tabla se presentan el total de puntos de extracción o bocatomas con caudal que fueron utilizados en este balance hídrico. Las diferencias entre el número de bocatomas y de derechos aprobados, con coordenadas y caudales (ACC) no se señalan en DGA (2006), por lo que se desconoce el origen de esta discrepancia.

**Tabla 5.2.1.3a.** Catastro solicitudes constituidas y en trámite aguas superficiales de las cuencas del río Petorca y La Ligua. Fuente: Extraído de DGA, 2006.

Item	Petorca	La Ligua
Nº Solicitudes	122	73
Solicitudes sin Información de Caudales Otorgados	24	38
Aprobadas (A)	98	32
Aprobadas y con Coordenadas (AC)	58	11
Aprobadas, con Coordenadas y Caudales (ACC)	57	11
Nº Bocatomas con Caudal Utilizadas en Balance	63	51

220. Respecto a los DAA subterráneos, se ha utilizado como referencia un estudio de la DGA de 2012, donde el número total de DAA con coordenadas geográficas es de 2.299 en La Ligua y 1.538 en Petorca. De estos DAA, solo una fracción posee información de caudales otorgados (consuntivos, permanentes y continuos). En La Ligua son 1.620 DAA con información de caudales, mientras que en Petorca son 1.296.

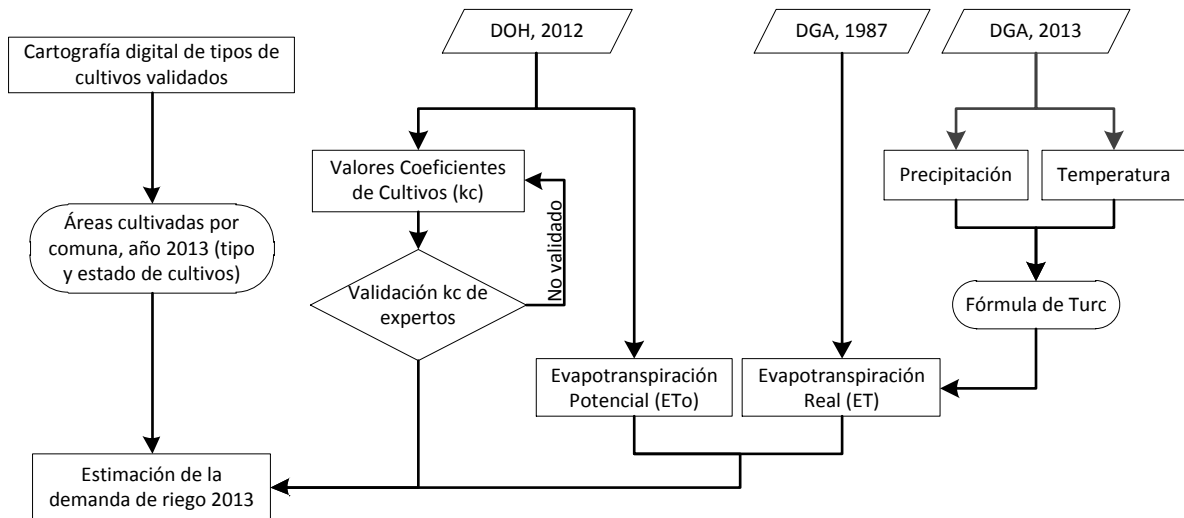
221. En términos de caudal y con coordenadas, se han otorgado un total de 7.944,35 l/s en La Ligua y 5.443,43 l/s en Petorca de DAA subterráneos consuntivos, permanentes y continuos. Estos caudales han sido considerados como demanda subterránea (DSUB) en el balance hídrico. Existen DAA consuntivos, permanentes y discontinuos por un total de 4 l/s en La Ligua y 32 l/s en Petorca que no fueron considerados en el balance, debido a que no cumplen el supuesto de demanda continua durante todos los días y horas del año.

222. Es necesario destacar que la falta de información en cuanto a los DAA totales otorgados, implica que la demanda se encuentra subestimada. Si esta información estuviera disponible, el efecto de considerar las demandas totales sería un incremento del déficit que se observa en el término delta ( $\Delta$ ) de la ecuación de balance. El nivel de error que se comete no es posible determinarlo, debido a que no hay claridad respecto de los caudales asociados a los DAA que no se han considerado en este balance.

### **Balance en Base a Demanda de Riego**

223. Para determinar la demanda de riego actual, se sigue la metodología esquematizada en el flujograma de la Figura. Se parte de la actualización del uso de suelo agrícola según tipo que se realizó como parte de este estudio (Anexo 3). Los coeficientes de cultivo  $k_c$  utilizados se obtienen de estudios existentes y opinión experta. La evapotranspiración de los cultivos se obtiene como se ha descrito anteriormente. Luego, el área por sector de cada tipo de cultivo permitió obtener el volumen anual de agua demandado por los cultivos. Este enfoque se podrá perfeccionar en la medida en que se cuente con mayor información del uso efectivo de los derechos indicando las extracciones reales.

224. Por otra parte, se consideró que la precipitación total es la que debe satisfacer dicha demanda, es decir, no se ha incluido en el balance una precipitación efectiva, lo cual implica que la oferta neta (precipitación total) estaría sobreestimada en este caso.

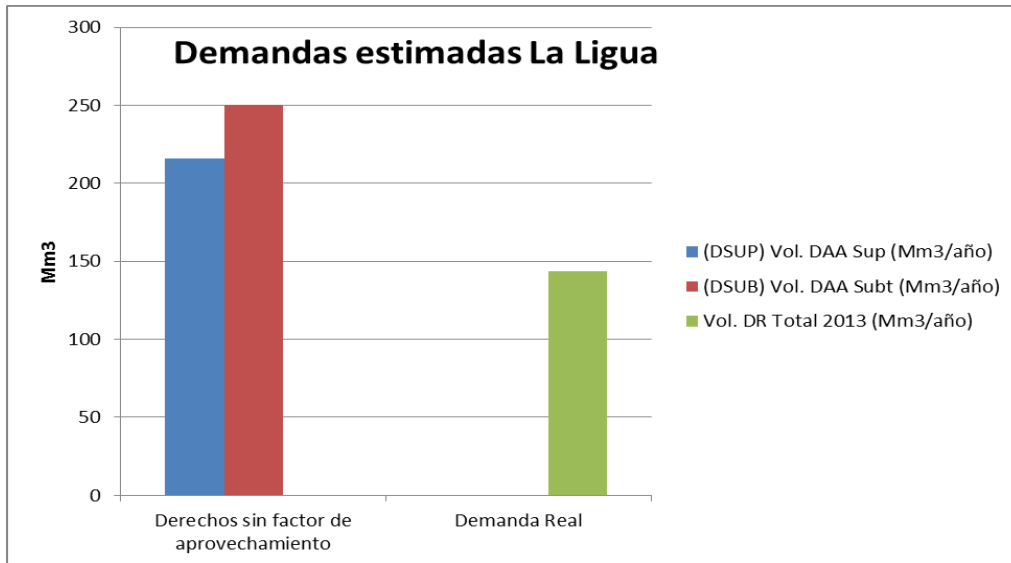


**Figura 5.2.1.3b. Flujograma metodológico para la estimación de la demanda de riego.**

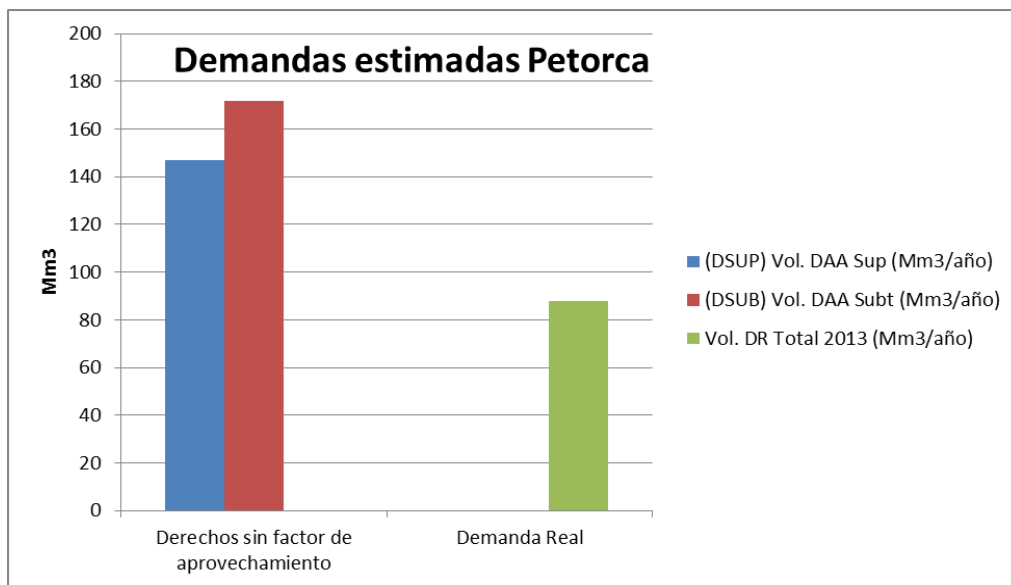
225. La idea de estimar este balance es contrastar los resultados con el balance estimado a través de la demanda según derechos otorgados. Esto permite explorar si al satisfacer la demanda del suelo cultivado, se está utilizando un volumen total cercano al otorgado a través de los derechos de agua.

226. Los resultados de la estimación de la demanda se muestran a continuación (Figuras 5.2.1.3c y 5.2.1.3d respectivamente):

**Figura 5.2.1.3c. Demandas estimadas en La Ligua.**



**Figura 5.2.1.3d. Demandas estimadas en Petorca.**



#### 5.2.1.4 Análisis de resultados del Balance Hídrico

227. Los resultados de las 15 combinaciones de escenarios analizados se muestran en el Anexo 3. Al aplicar la ecuación de Balance (Ecuación 1-1) para el cálculo de la variación anual del almacenamiento total, superficial y subterránea, ( $\Delta$ ), se puede apreciar que para todas las combinaciones esta variación es negativa.

### **Balance en Base a Derechos de Agua**

228. Considerando demandas de agua equivalentes a los derechos de aprovechamiento de agua (DAA) otorgados en la zona de estudio, sin introducir consideraciones de factor de uso (ver Anexo 3), se aprecia para todos los años tipo una situación de sobre otorgamiento de DAA respecto a los aportes de precipitación, principal suministro de agua del sistema.

229. Por otra parte, los antecedentes indican que los volúmenes de DAA superficial y subterráneo están subestimados, ya que existe un volumen de agua indeterminado de derechos que, al no poseer información de caudal otorgado, ha impedido su inclusión en este balance. Como se indicó en el desarrollo del informe, incluir mediante alguna estimación los derechos faltantes aumentará el déficit, por lo cual se puede afirmar que el sobre otorgamiento detectado sería una estimación conservadora de la situación real, que es más severa.

230. En el caso de la incorporación del factor de uso, si se considera un factor de uso del 20% para las dos cuencas, se observa un delta ( $\Delta$ ) negativo para todos los escenarios de año meteorológico considerados.

231. Como se indicó en la metodología, se ha supuesto que el caudal de salida de la cuenca ( $Q_s$ ) representaría el sobrante de agua de la cuenca, una vez que se ha utilizado el agua de los DAA y el riego. Al respecto, se ha analizado la tendencia y la sensibilidad esta variable, para descartar que el supuesto esté afectando los resultados.

232. Un análisis de sensibilidad indicó que si  $Q_s$  es igual a cero, bajo el supuesto que dicho caudal sólo refleja el nivel del acuífero en el año evaluado y no incluye derrames del riego u otras fuentes, el déficit continua existiendo en todos los escenarios (seco, normal y húmedo) y tipos de demanda analizados (DAA, Factor de Uso y Riego). Este escenario analizado es el más favorable posible, pues la variable  $Q_s > 0$  aumenta el déficit, mientras que  $Q_s = 0$  minimiza el déficit posible.

**233.** Aunque se desconoce la eficiencia global del uso del agua en La Ligua y Petorca, en los últimos años, debido a la sequía que afecta a la zona, ambas cuencas se han abastecido principalmente de aguas subterráneas, pues los flujos superficiales son casi inexistentes, salvo en las zonas altas de ambas cuenca.

### **Balance en Base a Demanda de Riego**

234. El balance en base a la demanda de riego indica que esta actividad productiva no estaría requiriendo los volúmenes de agua anuales asignados legalmente en la zona (100% de los DAA).

235. Si se compara la demanda de riego con los resultados del balance en base a DAA, es menor el resultante en el balance en base a la demanda de riego, lo que indicaría que se están utilizando actualmente del orden del 17% los DAA (superficiales más subterráneos) considerados en este estudio. Cabe señalar que la superficie de riego identificada al 2013 es la mayor superficie cultivada hasta la fecha en la zona.

236. Este déficit de agua en la demanda de riego abarca todos los escenarios meteorológicos analizados. Realizando el análisis de sensibilidad con el caudal  $Q_s$ , se mantiene el déficit en todos los escenarios cuando  $Q_s = 0$ .

237. No obstante, bajo el escenario actual de escasez de agua (Cámara de Diputados, 2012), en el cual el principal abastecimiento es de aguas subterráneas, el estado actual de extracciones podría estar deprimiendo las napas subterráneas.

238. De acuerdo a DGA (2012), del total de aguas subterráneas utilizadas en la cuenca de Petorca, un 86% lo extrae la agricultura y un 7% el agua potable, mientras que del uso de las aguas subterráneas del acuífero de La Ligua, un 77% es extraído por la agricultura y un 15% por el agua potable. Considerando que el año 2013 presenta en la zona de estudio la mayor superficie cultivada (162,4 km<sup>2</sup>) del período analizado 1976-2013, esto indica que el balance en base a demanda de riego es conservador en cuanto a las extracciones de agua del sistema, por lo cual el déficit de agua sería aún mayor en la zona, validando así la existencia de conflictos por el uso del agua en la zona (Cámara de Diputados, 2012).

239. Cabe señalar que aún cuándo se considera que el balance con base en la demanda real es el más representativo de la situación de la cuenca, para un análisis más real (y para tomar en cuenta la eficiencia en el uso del agua para la agricultura) sería necesario hacer un balance con base en las extracciones reales en la cuenca, incluyendo las extracciones ilegales.

### **5.3 Infraestructura hidráulica en las cuencas Ligua y Petorca**

#### **5.3.1.1 Infraestructura existente**

240. En total fueron catastradas 74 obras de infraestructura, estando la mayoría de ellas en condición de “terminadas” según el estado que define el MOP. En relación al tipo de proyecto, la mayor parte corresponden a obras del tipo estructural (82%), superando ampliamente a las iniciativas no estructurales.

En relación al Sector, se tienen un 37% para Riego y 51% para Defensas Fluviales, repartiéndose el restante el 12%, en el sector Minero, Drenaje Urbano y Multisectorial.

241. Existe una red de canales que se utilizaba en años anteriores, cuando existía disponibilidad superficial de aguas. Sin embargo, no existen asociaciones de canalistas operativas en la actualidad (DOH, 2012).

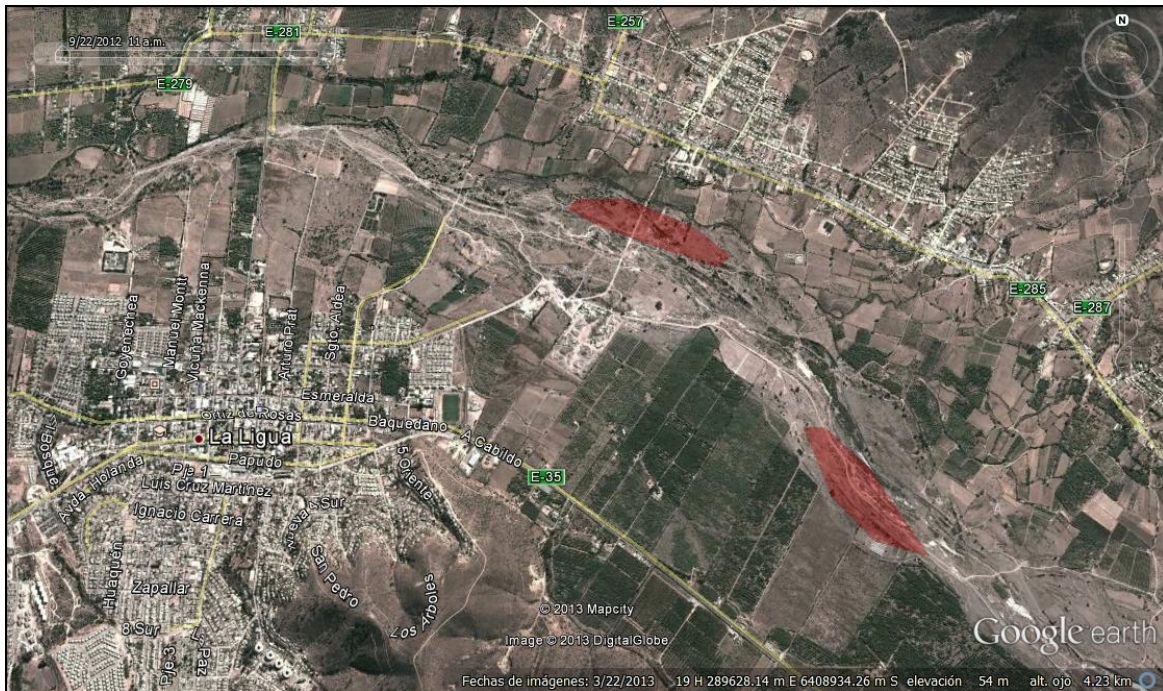
### **5.3.1.2 Futuros proyectos**

242. En el área en estudio, indica que se avanzará en los estudios de cuatro embalses pequeños en los valles de Petorca y La Ligua. Éstos corresponden a los embalses Pedernal y Los Ángeles en la cuenca de Petorca, proyectando su ejecución entre los años 2016 y 2019; y, los embalses Las Palmas y La Chupalla, en la cuenca del río La Ligua, proyectados para partir con la ejecución el año 2019(Anexo 1).

243. En materias de infraestructura de evacuación de drenaje y aguas lluvias así como en control aluvional y manejo de cauces, el Plan Regional mencionado no identifica proyectos específicos para las cuencas en estudio. Se realizó una investigación en la prensa escrita se encontró como referencia que el año 1977 tenía asociado un evento de alta intensidad, lo que motivó realizar la búsqueda en la prensa desde dicho año hasta la fecha. Se encontraron diversos eventos que han producido daños en la infraestructura y en la población de la zona. . Las crecidas de mayor relevancia en cuanto al nivel de desastre por inundación ocurrieron en junio de 1986 y mayo de 1996 en la Ligua.

244. De parte de la Municipalidad de La Ligua, se indicó la necesidad de obras de defensa fluvial en el sector conocido como Valle Hermoso (rivera norte del río). Durante el presente año se está construyendo el puente Illalolén, ubicado en la Ruta E-279, camino La Ligua-Valle Hermoso, el cual posee obras de defensa con enrocados. Se indica la necesidad de obras de defensa fluvial aproximadamente 1 km aguas arriba de este puente, por cuanto en dicho punto se produce históricamente el desborde del río durante crecidas e inundan el centro de La Ligua, llegando al estadio Municipal (Figura .1.1a.). Se indicó además que los mayores estragos en relación a inundaciones ocurrieron en 1987, en el que algunas localidades quedaron aisladas por al menos dos semanas.





**Figura 5.3.1.1a.** Zonas demarcadas en rojo indican la necesidad de obras de defensa fluvial en La Ligua.

245. De parte de la Municipalidad de Petorca, se indicó que el tema de defensas fluviales se ha dejado históricamente en manos de la DOH Regional. Como municipalidad, están más preocupados de la sequía, en lugar de las inundaciones.

246. De parte de la DOH Regional, el Sr. José Pascual y el Sr. Juan Echavarría indicaron que en la comuna de Cabildo se requieren obras de defensa fluvial en la ribera izquierda del río La Ligua, aguas arriba y aguas abajo del puente de la Ruta E35, antes del depósito de relaves de Minera Cenizas, con el propósito de salvaguardar sectores de riego (Figura 5.3.1.1b).



**Figura 5.3.1.1b. Zonas demarcadas en rojo indican la necesidad de obras de defensa fluvial en Cabildo.**

247. Adicionalmente a estos proyectos, se ha planteado recientemente una idea innovadora que considera analizar la implementación de microembalses, abastecidos de fuentes subterráneas bajo un estricto análisis de operación, con el fin de no afectar la recarga del acuífero. Esta idea, sin embargo, se encuentra a un nivel de desarrollo preliminar en comparación con los cuatro proyectos de embalses mencionados al inicio.

## **5.4 Planeación de en las cuencas Ligua y Petorca con ayuda de herramientas de modelación**

### **5.4.1.1 El uso de la modelación de la cuenca para la planeación de infraestructura**

### **5.4.1.2 Información del Modelo**

248. Para el desarrollo del proceso de modelación hidrológica se utilizó el software de modelación hidrológica WEAP (Water Evaluation and Planning). Este programa es una iniciativa desarrollada por el Sotckholm Enviroment Institute, cuyo objetivo es ser una herramienta de ayuda para la modelación,

planificación, evaluación y simulación de diversos sistemas naturales y antrópicos, donde se requiere realizar una gestión integrada de los recursos hídricos y evaluar distintos escenarios climáticos y alternativas de desarrollo. Se escogió el uso de este modelo como apoyo a la planeación debido al amplio conocimiento y uso que existe del mismo en Chile, tanto en la academia como en la DOH.

249. El programa WEAP permite la modelación de una cuenca al representar ésta en función de diversas posibles subdivisiones de ella, por ejemplo, en unidades de subcuencas por punto de interés o bandas de elevación. En cada una de estas subdivisiones, cuya elección se determina en función de la información disponible, los requerimientos y necesidades de la modelación, se ingresan variables meteorológicas y parámetros físicos de la cuenca, con las cuales el programa desarrolla una estimación de los caudales de la cuenca modelada. Si la cuenca se encuentra intervenida, se requiere además contar con información sobre las demandas, la cual puede tener distintos niveles de resolución espacial y temporal.

250. El programa WEAP utiliza un modelo semi-conceptual para la evaluación de los procesos que ocurren al interior de la cuenca, ofreciendo diferentes metodologías, según sea el objetivo que se tiene:

- a) Precipitación/Escurrimiento
- b) Demandas de riego
- c) Humedad del suelo
- d) Coeficiente de evaporación (kc) dual diario

251. El planteamiento y desarrollo de los modelos queda determinado principalmente por dos factores: el modelo conceptual utilizado y los valores cuantitativos de los parámetros. El primer factor especifica las relaciones entre los distintos elementos que conforman la cuenca, tales como sitios de demandas de recursos hídricos, sectores del acuífero y subdivisiones de la cuenca. Sin embargo, la definición de un modelo conceptual es un proceso evolutivo en el tiempo, que se ajusta en función de la información disponible y sujeto a las restricciones del modelo, de manera tal que represente lo mejor posible la realidad del área de estudio. La presente sección da cuenta del modelo conceptual final.

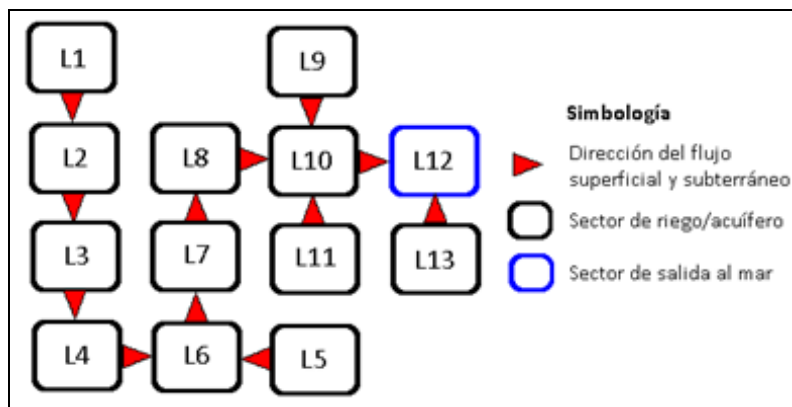
252. Se confirma la utilización de la sectorización espacial planteada definida por el estudio de DOH (2006), la que se basa a su vez en la sectorización definida por IPLA-AC Ingenieros para la Dirección General de Aguas, en el estudio “Análisis y evaluación de los recursos hídricos de las cuencas de los ríos Petorca y Ligua” (DGA, 1998).

253. El estudio de DOH (2006) estableció 13 sectores para la cuenca del río La Ligua y 12 sectores para la cuenca del río Petorca, en función de la distribución de los canales de riego, sus bocatomas, áreas regadas, ubicación de los controles fluviométricos y de las características geomorfológicas. Estos sectores están determinados por intersecciones entre hoyas hidrográficas delimitadas con respecto a puntos que funcionan como hitos en la definición de éstas últimas. Esta subdivisión resulta adecuada para la diferenciar los subelementos de la cuenca a utilizar, por lo que se utiliza esta como la escala de las unidades básicas fundamentales de modelación.

254. Los sectores coinciden a su vez con sectores de riego característicos y son consistentes con la definición de los acuíferos en la zona de estudio.

255. Respecto a la resolución temporal, se ha adoptado el uso de información mensual para la modelación de las cuencas.

256. Esta sectorización define la relación que se da tanto entre los recursos superficiales como los subterráneos, al considerar las conexiones hidráulicas entre los sectores, estableciéndose así las relaciones de aporte tanto de los cauces afluentes como las establecidas entre acuíferos. El sentido de estas relaciones se muestra en la Figura 50.4.1.25.4.1.2a. para la cuenca del río La Ligua y en la Figura 5.4.1.2b. para el río Petorca.



**Figura 50.4.1.2a. Esquema conceptual de flujo de la cuenca del río La Ligua.**



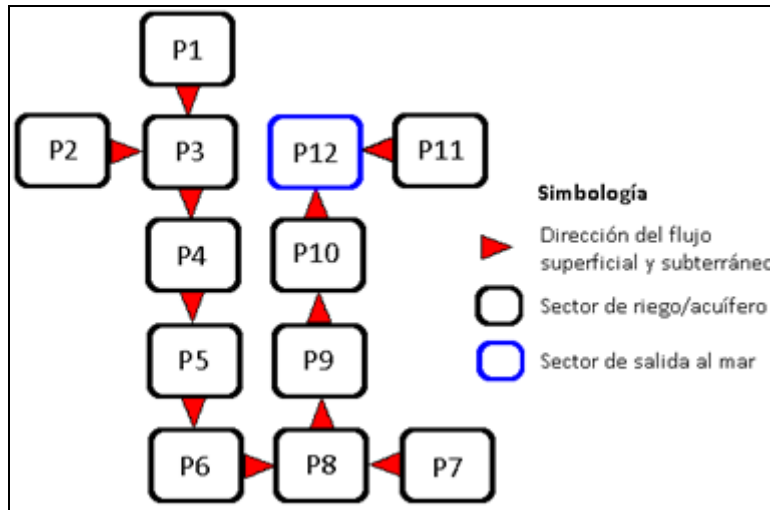


Figura 5.4.1.2b. Esquema conceptual de flujo de la cuenca del río Petorca.

### 5.4.1.3 Elementos del modelo

257. Como se introdujo anteriormente, el modelo WEAP propone distintos elementos a través de los cuales es posible representar la cuenca. Se presenta a continuación una lista de los elementos utilizados en este estudio.

#### La Cuenca

258. La subcuenca es un elemento de nodo fundamental dentro del proceso de modelación, ya que representa el área geográfica en estudio. Es aquí donde se incorpora la información meteorológica que posteriormente, a través del planteamiento semi-físico del modelo, permite estimar los caudales en la cuenca. Es en este elemento donde, debido al planteamiento del modelo semi-físico, se requiere estimar un conjunto de parámetros que permitan representar adecuadamente las dinámicas que ocurren al interior de la cuenca. Se plantea un nodo de cuenca por cada uno de los sectores involucrados en el proceso de modelación. Cada una de las variables nombradas.

**Tabla 5.4.1.3a. Parámetros requeridos de un elemento de cuenca**

Parámetro	Traducción	Unidad	Descripción	Tipo de variable
Área	Área	m <sup>2</sup> o km <sup>2</sup>	Área de cada captación definida.	Información disponible
Crop coefficient	Coefficiente de cultivo	-	Coefficiente de cultivo utilizado por la FAO para calcular evapotranspiración.	Parámetro de Calibración
Soil Water Capacity	Capacidad de la capa superior de suelo	mm	Capacidad de retención de agua de la primera capa de suelo.	Parámetro de Calibración
Deep Water Capacity	Capacidad de la capa inferior de suelo	mm	Capacidad de retención de agua de la capa profunda de suelo.	Parámetro de Calibración
Runoff Resistance Factor	Factor de resistencia a la escorrentía	-	Parámetro que controla la magnitud de escorrentía directa.	Parámetro de Calibración
Root Zone Conductivity	Conductividad de la capa superior de suelo	mm/mes o mm/día	Conductividad hidráulica de la primera capa de suelo.	Parámetro de Calibración
Deep Conductivity	Conductividad de la capa inferior de suelo	mm/mes o mm/día	Conductividad hidráulica de la capa de suelo profunda.	Parámetro de Calibración
Preferred Flow Direction	Dirección preferida de flujo	%	Factor que divide flujo entre las capas.	Parámetro de Calibración
Initial Z1	Z1 inicial	%	Porcentaje de humedad inicial del estanque superior de suelo.	Se realiza supuesto
Initial Z2	Z2 inicial	%	Porcentaje de humedad inicial del estanque inferior de suelo.	Se realiza supuesto

## **Nodo de demanda**

259. Representan en un elemento de nodo dentro del modelo cualquier uso posible o requerimiento de agua, pudiendo ser éste de diversa índole: industrial, consumo, agricultura, minero, etc.

260. Dependiendo del tipo de demanda del que se trata, la distribución es realizada de diferentes formas. Se presentan a continuación los detalles de cada uno de ellos:

### **Demandas Industriales/Mineras**

261. Se calcula el volumen anual total extraíble según lo que indican los derechos. A continuación, se distribuye proporcionalmente según el número de días de cada mes.

### **Demandas de agua potable**

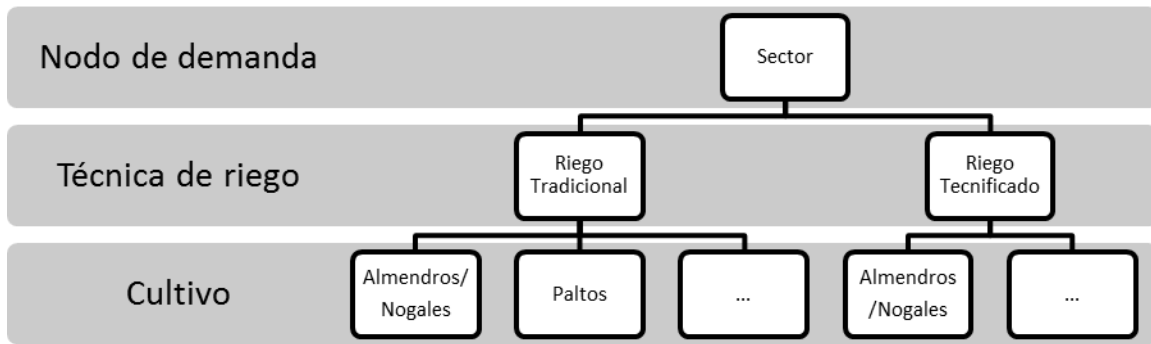
262. Se calcula el volumen anual total requerido en función de la dotación (dato fijo) y la estimación de población aproximada para el año (dato variable en función de las extrapolaciones realizadas utilizando la información de los CENSO de población). A continuación, se distribuye proporcionalmente según el número de días de cada mes.

### **Demandas Agrícolas**

263. Para representar estos nodos se consideraron dos alternativas diferentes: modelación según los derechos de agua presentes en la zona o según las demandas reales en base a la información de los cultivos plantados por sector.

264. Debido a que la modelación solicitada busca representar de la mejor forma posible la realidad de las cuencas resulta más apropiado utilizar las demandas evapotranspirativas reales de los cultivos y no de los derechos de agua, para representar los recursos hídricos requeridos y a la vez poder incorporar potenciales extracciones no reguladas. Además, la información que se tiene de los derechos de agua es muy limitada lo cual no permite hacer una evolución temporal de éstos, especialmente en un periodo tan extenso como el que se está calibrando. Esta decisión fue avalada por el panel de expertos internacionales.

265. Si bien se utiliza un solo nodo de demanda agrícola para cada uno de los sectores en el proceso de modelación, la información es incorporada en forma desagregada según técnica de riego y tipo de cultivo, según la desagregación que se enseña en la Figura .1.3b.



**Figura 5.4.1.3b. Esquema de distribución nodo de demanda.**

**La información incorporada a cada nodo corresponde a lo siguiente:**

- a) Área plantada según cultivo, en cada año.
- b) Esta información fue estimada utilizando diferentes fuentes entre las cuales se cuentan censos y catastros agrícolas, además del diagnóstico realizado dentro del marco de este estudio.
- c) Volumen total de agua requerida a nivel anual para una hectárea de cultivo, según el cálculo de las demandas evapotranspirativas propias de cada cultivo, utilizando información de la literatura y según la metodología propuesta por FAO.
- d) Porcentaje de distribución mensual del total anual para cada mes, desarrollado considerando los requerimientos mensuales calculados para obtener el punto b.
- e) Porcentaje de área de cada cultivo según técnica de riego.

Se realiza esta diferencia ya que si bien se cuenta con la información de la demanda neta por hectárea (punto ii), la demanda bruta de agua debe incorporar el factor de eficiencia del tipo de riego. Debido a que la diferencia de eficiencias resulta significativa (se asume un valor de 45% en riego tradicional y un 85% en riego tecnificado según literatura y la experiencia de los consultores Senior de este estudio), se tiene un impacto significativo sobre los volúmenes de agua requeridos para cumplir con las demandas de riego, según sea la técnica utilizada.

**Río**



266. Elemento vectorial a través del cual es posible relacionar todos las subcuencas y donde se incluyen las contribuciones de cada uno de ellos. Adicionalmente, representa el cuerpo de agua desde donde se extraen los recursos superficiales. El punto donde se introducen los aportes o realizan las extracciones en el modelo conceptual debe ser representativo de lo que ocurre en la cuenca, de manera que se represente bien la dinámica de ésta. También permite definir la distribución espacial de las diversas subcuencas, señalando aquellos que son de cabecera y la sucesión hacia aguas abajo de los distintos sectores que cada una representa, así como la disponibilidad de recursos hídricos disponibles para satisfacer cada uno de los nodos de demanda presentes en cada sector.

267. Se plantea un elemento de río para cada cauce principal de las cuencas. Adicionalmente, y según sea requerido, se incorporan cauces secundarios para posibles afluentes que el cauce principal pudiese tener.

#### **Estación de registro fluviométrico**

268. Las estaciones de registro fluviométrico son elementos de nodo que se ubican sobre un elemento de tipo río y se emplean para incorporar registros de caudales observados, los cuales permitan realizar una comparación con los caudales modelados y así evaluar el proceso de calibración que se está llevando a cabo.

269. Se plantea un elemento de estación fluviométrica de acuerdo a la disponibilidad de estas al interior de la cuenca, sujeto a una revisión de calidad de los datos que demuestre que efectivamente puede ser una contribución para el proceso de modelación.

#### **Acuífero**

270. Son un elemento de nodo dentro del modelo, cuya función es representar el almacenamiento subterráneo de agua. Dentro del modelo es necesario definir sus características geomorfológicas, su capacidad de almacenamiento, su gradiente hidráulico y su conductividad hidráulica.

271. Se define un elemento de acuífero concordante por cada uno de los sectores involucrados en el proceso de modelación, a excepción del último nodo.

**Las interacciones básicas en una unidad tipo son las siguientes:**

**Cuenca – Río**

272. Un porcentaje del volumen de agua que cae sobre la cuenca es transmitida directamente como contribución al caudal del río. Esta asignación se realiza en la cabecera de cada uno de los sectores de riego, de modo que se realiza el supuesto implícito de que toda el agua que se recibe en una cuenca está disponible para satisfacer demandas posteriores.

**Cuenca – Acuífero**

273. El porcentaje restante que no es incorporado al cauce del río ni evaporado es transmitido por medio de procesos de infiltración al acuífero correspondiente a la sección, lo que representa la recarga natural de cada acuífero. La incorporación de esta interacción altera el planteamiento físico presentado de los dos estanques: la modelación considera que en lugar de tener un estanque inferior, el caudal pasa directamente al acuífero.

**Río – Nodo de demanda agrícola**

274. Se establece un enlace de transmisión entre el río y cada nodo de demanda agrícola, en cada uno de los sectores, con el fin de satisfacer sus requerimientos. Este enlace tendrá como capacidad máxima el valor de los derechos de agua considerados dentro de ese sector y tiene prioridad de uso por sobre otras alternativas, para suministrar al nodo de demanda agrícola.

**Acuífero - Nodo de demanda agrícola**

275. Se establece un enlace de transmisión entre el acuífero y cada nodo de demanda agrícola en cada uno de los sectores, con el fin de satisfacer sus requerimientos. Este enlace también tiene como factor limitante los derechos de agua otorgados en el sector, en este caso de tipo subterráneo. Su uso queda relegado a una segunda alternativa, siendo utilizado solo en caso de que los recursos superficiales no fueran suficientes o bien estuvieran limitados.

**Nodo de demanda agrícola – Acuífero y Nodo de demanda agrícola - Río**

276. Se establece un flujo de retorno entre estos elementos para representar el proceso de infiltración que ocurre con el exceso de agua entregada a los cultivos debido a las diferentes eficiencias de los métodos de riego. Las eficiencias de riego son categorizadas ya sea en tradicional o tecnificada, independiente del método utilizado, adoptándose valores de 45% y 85%, respectivamente.

### Acuífero – Nodo de demanda urbano

277. Se establece un enlace de transmisión entre el acuífero y el nodo de demanda urbano. Se le asigna un orden de extracción equivalente a la prioridad del enlace de transmisión al nodo de demanda.

### Nodo de demanda urbano – Río

278. Las aguas recuperadas de los sistemas de abastecimiento son descargadas en el río luego de un proceso de tratamiento. Este proceso queda representado por un flujo de retorno desde el nodo de consumo urbano hacia el río, donde se recupera un porcentaje especificado.

### Acuífero X a Acuífero Y

279. Este flujo hace referencia a las transmisiones desde una sección del acuífero hacia la siguiente, representando la dinámica natural del acuífero, que si bien es uno solo, para efectos del modelo se encuentra subdividido.

280. Tomando en cuenta estos elementos se realizó

### 5.4.1.4 Calibración del modelo

281. Con ayuda de toda la información anterior se realizó la calibración del modelo WEAP, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 5.4.1.4a.** Evaluación de la modelación de la cuenca Río Sobrante En Piñadero, cuenca Petorca

Índice de evaluación	Versión	Valor
Coeficiente de Nash-Sutcliffe	Normal	0.61
	Logarítmico	0.65
Coeficiente de correlación	Anual	0.74
	Mensual	0.57

**Tabla 5.4.1.4b.** Evaluación de la modelación de la cuenca Río Petorca En Peñon.

Índice de evaluación	Versión	Petorca En Peñon	Sobrante En Piñadero
Coeficiente de Nash-Sutcliffe	Normal	0.67	0.47
	Logarítmico	0.43	0.63
Coeficiente de correlación	Anual	0.78	0.76
	Mensual	0.48	0.46

**Tabla 5.4.1.4c.** Evaluación de la modelación de la cuenca Río Petorca En Longotoma

Índice de evaluación	Versión	Valor
Coeficiente de Nash-Sutcliffe	Normal	0.57
	Logarítmico	0.62
Coeficiente de correlación	Anual	0.80
	Mensual	0.54

282. Para el caso de Petorca, a primera vista se logra una representación medianamente aceptable de las dinámicas que se dan en su interior y de los recursos hídricos de la cuenca del río Petorca. Sin embargo, la falta de registros más extensos de caudales o una definición más precisa de los cultivos que no requiera de tanta inferencia de valores intermedios entre distintos años en los que no se cuenta con información provocan que esta herramienta deba utilizarse con cautela y considerando todos los factores que su uso pueda implicar, tales como sub o sobrestimaciones de distintas variables, como por ejemplo la cantidad de agua que llega a la desembocadura o la superficie de cultivos que es posible regar con un cierto grado de seguridad.

**Tabla 5.4.1.4d.** Evaluación de la modelación de la cuenca Río Alicahue En Colliguay, Cuenca la Ligua.

Índice de evaluación	Versión	Alicahue En Colliguay
Coeficiente de Nash-Sutcliffe	Normal	0.49
	Logarítmico	0.66
Coeficiente de correlación	Anual	0.52
	Mensual	0.4

**Tabla 5.4.1.4e.** Evaluación de la modelación de la cuenca Río La Ligua en Quinquimo.

Índice de evaluación	Versión	Valor – Periodo completo	Valor Periodo hasta 1999/00	Valor Periodo desde 1999/00
Coeficiente de Nash-Sutcliffe	Normal	0.23	0.50	0.10
	Logarítmico	0.70	0.79	0.53
Coeficiente de correlación <sup>16</sup>	Anual	0.47	-	-
	Mensual	0.60	-	-

<sup>16</sup> Para el cálculo de estos coeficientes se utilizan solo los valores medios obtenidos que presentan registro.

283. Al igual que en el caso del modelo del río Petorca, resulta fundamental el contar con información apropiada de las variables críticas, en este caso las demandas agrícolas. Estas últimas resultan un factor determinante en la dinámica de la cuenca ya que debido a sus requerimientos desplazan y consumen grandes volúmenes de agua. Debido a esto, el modelo se vuelve altamente sensible a esta variable y en el caso de que no se tenga bien evaluada puede generar problemas en el proceso de calibración.

#### **5.4.1.5 Conclusiones sobre la modelación**

284. La modelación realizada en la zona de estudio, con base en la actualización de la situación de la cuenca, permitió determinar el balance hídrico de la cuenca para diferentes escenarios, considerando los derechos otorgados, la demanda real y distintas consideraciones hidrológicas. Como resultado se observa un importante déficit hídrico en la cuenca para todos los escenarios climáticos modelados (tanto años secos como húmedos) y para diferentes escenarios de demanda (con base en derechos otorgados y demanda real). También como resultado de este análisis se pone en evidencia un alto sobre otorgamiento de derechos de agua en la zona (los derechos de agua existentes son mucho mayores a la demanda real). Estos resultados subrayan la necesidad de revisar la disponibilidad hidrológica que existe en la región para la construcción de los embalses de riego se tienen planeados y de manera general refuerzan la idea que es necesario contar con una representación hidrológica de la cuenca (modelación) que provea la información necesaria para la planeación de infraestructura hidráulica con base en la realidad hidrológica.

285. Si bien la modelación hidráulica de una cuenca en la que se pretende desarrollar infraestructura hidráulica es fundamental para entender los procesos hidráulicos que se ahí se desarrollan, es importante adaptar las herramientas a la información disponible. El caso de Chile, y en particular de las cuencas Ligua y Petorca este piloto de modelación demuestra la necesidad de contar con información en cantidad y calidad suficientes para poder tener un conocimiento adecuado de la cuenca. La metodología de planeación y de priorización de proyectos de infraestructura que se propone más adelante, toma en cuenta estas limitaciones y propone un esquema general que podría ser empleado en diversas cuencas con información limitada. Sin embargo, un ejercicio técnico para evaluar los impactos de la infraestructura hidráulica planeada es fundamental para asegurar el desarrollo de inversiones sostenibles y adecuadas a la disponibilidad real de los recursos hídricos de la cuenca.

## **6 RECOMENDACIONES PARA EL MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE PLANEACIÓN Y DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA EN CHILE, EXPERIENCIAS DEL PILOTO**

### **6.1 Instrumentar una metodología de planeación con base en la realidad de la cuenca**

286. Es necesario definir la metodología de intervención y de las responsabilidades institucionales para que la cuenca hidrológica sea efectivamente usada como unidad de gestión y de planeamiento para las infraestructuras hidráulicas.

287. La unidad de la cuenca hidrológica es la escala más adaptada para gestionar los recursos hídricos y realizar un planeamiento de nuevas infraestructuras hidráulicas. Permite, a través de diferentes herramientas como los modelos de asignación de agua (como el modelo WEAP usado en las cuencas piloto de Liga y Petorca): (i) analizar el efecto acumulativo de proyectos en una visión geográfica, temporal y multi-sectorial; (ii) estudiar la dinámica de la evolución del balance del uso de recursos hídricos (con variabilidad de oferta y de demanda); y (iii) de estudiar diferentes escenarios prospectivos (combinaciones de acciones de gestión y/o de inversión) para llegar a un escenario deseado y consensado por los diferentes actores.

288. La primera consecuencia de lo anterior es que solamente pueden ser consideradas indicativos el listado de proyectos que emergen de ejercicios de planeación (como los Planes Regionales) que no incluyen modelación de recursos hídricos a nivel de cuenca (o que no se basan en estudios de modelación preliminares). Estas carpetas de proyectos hidráulicos, principalmente las obras hidráulicas de gran porte, necesitan de ser validadas con modelación a nivel de cuenca para garantizar que son soluciones adecuadas a la realidad hídrica de la cuenca. Tomando como ejemplo el caso de estudio de La Ligua-Petorca, el balance hídrico de la cuenca revela una severa falta en la disponibilidad de agua superficial. En consecuencia habría que analizar con mayor cuidado la disponibilidad hídrica real para los proyectos de embalses que se tienen pensados realizar en la cuenca, simulando el efecto y la operación de los embalses en la hidrología de la zona.

289. De acuerdo con lo que se menciona en la sección 3.4.1, se recomienda de proceder a una reflexión interinstitucional (principalmente DGA, CNR y DOH) para: (i) definir el nombre de la herramienta de planeación, el enfoque de intervención y la metodología exacta de modelación y

planeación sobre la gestión del recurso hídrico y la planeación de las infraestructuras hidráulicas; (ii) clarificar las responsabilidades institucionales y las formas de cooperación de manera a sumar fuerzas (adquisición de material conjunta, capacitación de personal conjunta, plataforma informática dividida, etc.); y para (iii) determinar las interacciones entre los procesos de planeación regional en base a límites político-administrativos (Planes Regionales) y la planeación en base a cuencas hidrográficas (este último punto necesita una coordinación institucional más amplia principalmente con la DIRPLAN). Para esto sería conveniente reactivar el Consejo de Planeación de Recursos Hídricos que existía dentro del MOP.

290. Sobre el tema de modelación hidráulica, el costo de este proceso y el número importante de cuencas hidrográficas en el país justifican la necesidad de: (i) priorizar las cuencas; y (ii) elaborar una metodología de intervención modulada en función de los riesgos de conflictos en el uso futuro de los recursos hídricos (con modelos más finos cuando la situación hídrica es más tensa). Como punto de partida, el Manual de Desarrollo de Grandes Obras de Riego de la CNR propone elementos para realizar la priorización de las cuencas con mayores déficits.

291. El estudio de las cuencas piloto de Liga y Petorca, como otros estudios recientes hechos por la DGA principalmente, pueden servir de ejemplo para definir esta metodología de intervención y la repartición de las responsabilidades institucionales futuras.

## **6.2 Mejora en la información disponible para la planeación de infraestructura hidráulica**

292. El estudio de las cuencas pilotos de la Ligua y Petorca ha evidenciado el déficit de información sobre la disponibilidad y el uso actual de los recursos hídricos (cf. Sección 5). Este déficit de información constituye un impedimento fuerte a la correcta planeación de la gestión actual y de la programación de futuras inversiones. Mejorar la calidad de la información contribuirá a mejorar la calidad de la planeación.

293. El estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua (Banco Mundial, 2013) identificó de manera más general esta necesidad de “Mejorar la obtención de información, manejo de datos y generación del conocimiento de los recursos hídricos” Se ha identificado que existen limitaciones e insuficiencias referidas a la obtención y gestión de la información y a la generación de conocimiento que es imprescindible para superar los desafíos de la gestión de los recursos hídricos en Chile (Instituto de Ingenieros, 2011). En este tema se identifica como objetivo prioritario completar y hacer más accesible y útil la gran cantidad de datos, estudios e informes disponibles, junto con mejorar los datos, tanto de disponibilidad (usos y retornos), como de calidad del agua y fuentes de contaminación, entre otros (Banco Mundial 2011).

294. Una de las acciones propuestas en este estudio es de mejorar el Catastro Público de Aguas (CPA). Esta deficiencia ha sido evidenciada en el caso de Ligua y Petorca (cf. Sección 5). Para completar y mejorar el registro, hay que simplificar, acortar y abaratar los procesos de regularización y perfeccionamiento de los DAA; lograr que los CBR y los usuarios transmitan a la DGA las transferencias y cambios efectuados en la propiedad de los DAA, al igual que los tribunales de justicia.

### **6.3 Mejora en las metodologías para la evaluación de proyectos de infraestructura hidráulica**

295. El Ministerio de Desarrollo Social preparó, en 2013, para el SIN la “Metodología para la formulación y evaluación socioeconómica de embalses y obras hidráulicas anexas con fines múltiples”. El Manual de Desarrollo de Grandes Obras de Riego (Consejo de Ministro de la CNR, 2011), pese al título que deja la impresión que focaliza en el riego, trata también de obras para usos múltiples.

296. Estas obras de uso múltiple constituyen elementos claves de los escenarios prospectivos en la modelación. Estas metodologías propuestas para realizar los estudios para la evaluación de los proyectos en el SIN constituyen un elemento reciente favorable en el sentido de visualizar los impactos cumulativos multisectoriales y, de manera implícita, a nivel de la cuenca.

297. Se recomienda de valorizar estas nuevas metodologías para promover las infraestructuras de uso múltiple y de analizar cómo integrarlas con las iniciativas propuestas en la sección anterior (modelación de asignación de recursos hídricos de tipo WEAP). Esta integración de la metodología del SIN y de la modelación hidráulica podría ser hecha para los embalses de usos múltiples de Ligua y Petorca.

298. Un paso adicional para la optimización de la inversión pública en recurso hídrico sería de poder considerar y analizar en el SNI conjunto de proyectos vinculados (y no solamente proyectos individuales) cuando los escenarios prospectivos muestran interrelaciones positivas entre varios proyectos.

### **6.4 Mejora en las metodologías para la priorización de proyectos de infraestructura hidráulica**

299.

300. El proceso interno a la DOH de priorización de los proyectos de los 3 productos estratégicos debe estar relacionado con la planeación hecha a nivel de la cuenca hidrográfica como descrito en las secciones anteriores.



301. Mientras tanto, la DOH necesita de un método de priorización que, según los casos: (i) alimentará el proceso de planeación a nivel de la cuenca; o (ii) priorizará, de manera más fina, la planeación ya realizada a nivel de la cuenca, para cada uno de los productos de la DOH. De hecho, la modelación a nivel de cuenca focaliza en las infraestructuras con impacto significativo en el régimen hídrico. Proyectos de pequeño y mediano impactos no podrán ser priorizados o descartados a nivel de una modelación de cuenca. En consecuencia, la herramienta de priorización se desarrolla a dos niveles, uno para priorizar, los proyectos de una misma naturaleza priorización por producto estratégico y una segunda priorización entre proyectos de distinta naturaleza.

302. Para la priorización interna a la DOH, se recomienda el uso de metodología de tipo Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) para la priorización del portafolio de 3 productos estratégicos de la DOH (Riego, Aguas de Lluvia y Manejo de Cauce). Esta metodología debe incluir una propuesta de método para determinar los pesos (sugerimos usar el Analisis Hierarchy Process) y de método para el MCDM (sugerimos usar el System Additive Weight). Los lianamientos generales de esta metodología se describen a continuación.

## **7 PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA**

### **7.1 Conceptualización de la metodología**

303. La DOH del MOP cuenta con una cartera de proyectos de inversión. Estos proyectos son de distinta naturaleza, y pueden clasificarse según los productos estratégicos de la DOH: Obras de Riego, Obras de Manejo de Cauces y Obras de Aguas Lluvias.

304. Ante la pregunta de ¿Cuáles proyectos se debiesen ejecutar?, la recomendación inmediata sería ejecutar todas aquellas obras que resulten ser socialmente rentables. Recomendación que no es posible seguir debido a que se cuenta con recursos, tanto humanos como económicos, limitados.

305. En este contexto el problema se define como la necesidad de priorizar obras en el contexto de la planificación presupuestaria anual de la Dirección de Obras Hidráulicas, la planeación a corto plazo como se describe en los apartados 3.2.2 y 3.2.3.

306. En este problema, se conjugan además otras variables. En primer lugar se encuentra la distinta naturaleza de los proyectos. De acuerdo a su naturaleza, los proyectos generan distintos tipos de impactos positivos y negativos, y por lo tanto su evaluación económica o rentabilidad social, considera distintos

tipos de beneficios y costos. No es posible establecer que ante cualquier escenario un tipo de beneficios será siempre superior a otro, y tampoco establecer en qué medida. Por lo tanto, el sistema de priorización deberá ser capaz de establecer proyectos prioritarios de distinta naturaleza.

307. En segundo lugar, los proyectos se encuentran en distintas etapas de su ciclo de vida, no siendo posible establecer tampoco que ante cualquier escenario, será siempre más importante ejecutar proyectos que invertir en estudios de preinversión, por ejemplo, por lo que el sistema de priorización deberá ser capaz también de identificar tanto aquellos proyectos que deben pasar a etapa de ejecución como aquellos que deben seguir avanzando en sus estudios de preinversión.

308. Cabe señalar que en el contexto de análisis de cartera de inversiones, se considera que cualquier grupo de obras que se complementan, ya sea en la generación de beneficios como en la de costos, constituyen un solo proyecto. Esto implica que la cartera de inversión en análisis está constituida por un conjunto de alternativas completamente independientes entre sí.

309. De acuerdo a lo anterior, el objetivo de la presente metodología es elaborar listas priorizadas de obras y estudios, en el contexto de las diversas restricciones que enfrenta la DOH para asignar sus recursos disponibles.

310. Esta metodología deberá tener las características siguientes:

- a) Ser operacional para un funcionamiento a diferentes escalas: cuenca, región o a nivel nacional.
- b) Incluir un proceso en 2 etapas: i) una etapa de priorización sectorial (los proyectos de cada producto estratégico de la DOH siendo priorizados de manera separada con indicadores específicos a cada producto) y; ii) una etapa de priorización multisectorial, con priorización de los proyectos de los 3 productos estratégicos, de manera conjunta (con indicadores comunes en las dimensiones económicas, sociales y ambientales) (ver Figura 7.1). Los métodos de pesos y MCDM como también los criterios podrán ser distintos para cada etapa. (ver esquema adjunto en página siguiente).
- c) ser capaz de analizar proyectos con distintos niveles de estudios (de perfil a diseño).
- d) tener la máxima coherencia y compatibilidad con los procesos de planeación del MOP a nivel regional y nacional, especialmente para la selección de los indicadores y de sus pesos.

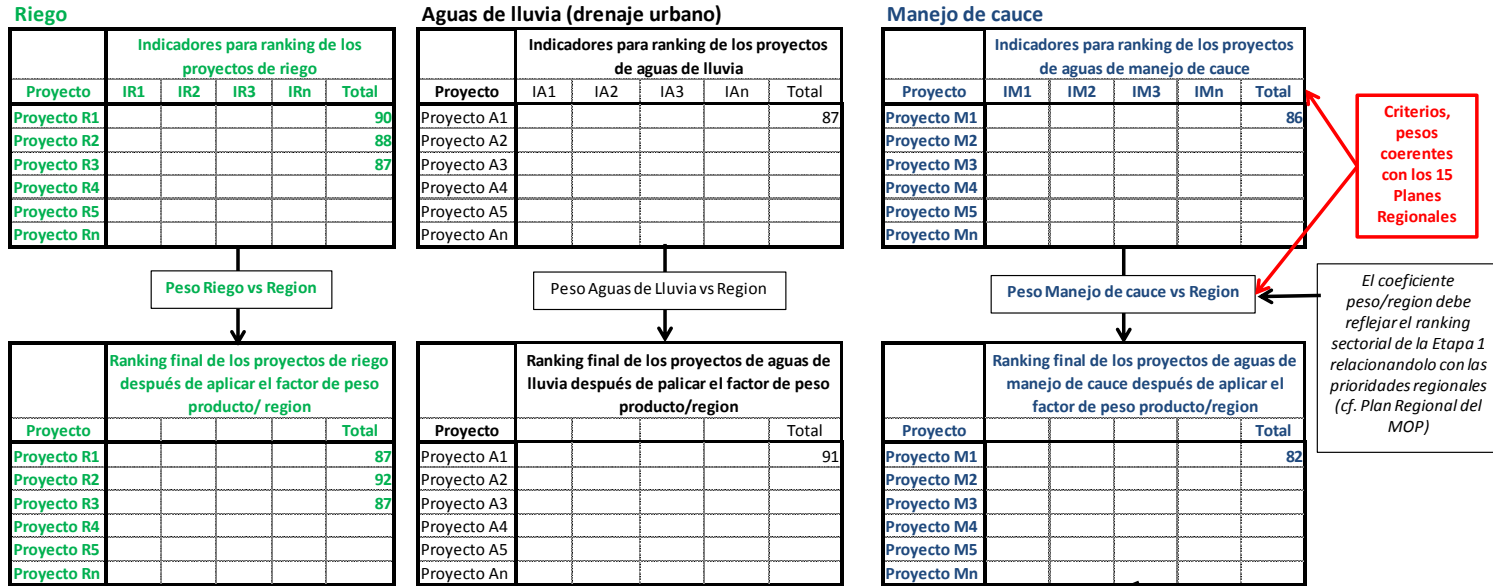
311. Se recomienda construir la plataforma de priorización en base Excel, usando la experiencia internacional (USACE y otros) y nacionales (DIRPLAN, DOH-2004, etc.).

312. Se deberá elaborar un manual de uso y definición de los procesos asociados al uso de la plataforma siendo, entre otros: i) articulación institucional (DOH, CNR, DGA, etc.); ii) selección de los evaluadores, iii) organización de las consultas para definir los pesos, iv) calendario de uso anual de la plataforma, v) forma de difusión de los resultados y; vi) control de la calidad de los resultados.

313. A continuación se propone la metodología multicriterio, para cada tipo de obra: Obra de riego, Manejo de cauces, y Aguas lluvias. Se propone una priorización separada, aplicando metodología multicriterio. Los tres modelos propuestos clasifican los criterios según ámbito Económico, Social y Ambiental.

Figura 7.1. Estructura conceptual de la metodología de priorización.

1- ETAPA 1: PRIORIZACION A NIVEL DE CADA PRODUCTO ESTRATEGICO (MCDA relacionado con los 15 Planes Regionales)



2- ETAPA 2: PRIORIZACION FINAL (segundo MCDA - 3 BOTTOM LINES)

Proyecto	Indicadores para ranking final de los proyectos						Total
	Ind. Económico	Ind. Social	Ind. Ambien	...	...	Coef. proyecto multiuso	
Proyecto R2							
Proyecto A1							
Proyecto M1							
Proyecto R2							
Proyecto R3							
Proyecto A2							
Proyecto M2							
etc.							

## **7.2 Metodología multicriterio**

314. Para la construcción del índice multicriterio se propone aplicar el Proceso Analítico Jerárquico (AHP), proceso que requiere la realización de un conjunto secuencial de pasos, que para efectos de la presente metodología se han agrupado en las etapas de: i) Formulación del modelo jerárquico y ii) Evaluación Multicriterio.

### **Etapas de Formulación del Modelo Jerárquico.**

Esta etapa tiene los siguientes pasos:

- a) Definición de actores decisores: Los participantes involucrados en el proceso de decisión, deben ser cuidadosamente seleccionados, ya que de éstos depende la representatividad del resultado del modelo de priorización. En este sentido, los actores decisores puede ser un grupo de expertos, o representantes de los principales agentes involucrados en los procesos de toma de decisiones de inversión.
- b) Definición de Criterios de Evaluación: Consistentemente con los objetivos globales de la Dirección y el Ministerio, deben quedar definidos los criterios, subcriterios e indicadores con los cuales se priorizará, criterios de los ámbitos económicos, sociales y ambientales.
- c) Construcción Modelo Jerárquico: Durante la formulación se deben además definir el modelo jerarquía entre criterios, subcriterios e indicadores.

### **Etapas de Evaluación Multicriterio**

315. El objetivo de esta etapa es priorizar una lista de proyectos de obras hidráulicas de la DOH

316. En esta etapa se deben calcular los ponderadores, asignar valores (o comparaciones de a pares) a los proyectos en cada uno de los criterios y subcriterios (construcción de matriz de compensaciones), y calcular el índice que sintetiza los indicadores de cada uno de los criterios y sus ponderaciones (cálculo de prioridades). Esto implica multiplicar cada indicador normalizado por su correspondiente ponderador, lo cual se debe realizar para cada uno de los proyectos.

317. En términos de la aplicación de la metodología, es en este punto en el que corresponde aplicar los pasos que se describen esquemáticamente en la Figura 7.2.

318. A continuación se lista cada uno de los pasos asociados a la etapa de evaluación multicriterio:

Paso 1: Construcción Matriz de Compensaciones: El cálculo de la prioridad se realiza en función de comparaciones a pares con respecto a un criterio dado. Para comparar los elementos se forma una matriz y se pregunta: ¿Cuánto supera este criterio (o actividad) al elemento con el cual se está comparando- en la medida en que posee la propiedad, contribuye a ella, la domina, influye sobre ella, la satisface, o la beneficia?

Paso 2: Cálculo de Prioridades: Se establece el orden de prioridades es decir la ponderación de las variables

Paso 3: Test de Consistencia: Se realiza un test para demostrar congruencia y consistencia

Paso 4: Construcción de la matriz de Indicadores. Una vez que se cuenta con los vectores de prioridad par cada criterio y/o subcriterio, se construye el ponderador global de cada indicador, como la multiplicación entre el ponderador local, es decir, su prioridad en el nivel inferior del modelo jerárquico, y los ponderadores de los subcriterios y criterios de los niveles superiores a los cuales pertenece.

Paso 5: Cálculo de Prioridades. Finalmente, se calcula el valor que toma cada uno de los indicadores definidos en la etapa de formulación para cada uno de los planes evaluados, o dentro de un plan, para cada uno de los proyectos que considera.

319. Si un indicador es de carácter cualitativo, siendo posible escalarlo por ejemplo en: Muy bueno, Bueno, Regular, Malo y Muy Malo. Los actores relevantes definidos en la etapa de formulación deben construir una matriz de compensaciones para el indicador, asignando importancia relativa para los posibles niveles que tome el indicador.

320. El valor de cada indicador se multiplica por la importancia relativa del indicador, definida en el modelo de priorización. De esta manera a cada proyecto se asigna un puntaje con el cual es posible compararlos entre si.

321. Se tiene ya una propuesta preliminar que deberá ser validada con las autoridades y los actores más relevantes (Anexo 9).

322. Para seleccionar los criterios e indicadores, se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Al considerar indicadores de rentabilidad social en el índice multicriterio, no es correcto incorporar indicadores que den cuenta de los mismos beneficios que se incorporan en el cálculo del VAN social, ya que se estarían contabilizando dos veces.

- Los indicadores deben ser tales que el modelo sea fácilmente actualizable, de otra forma, la generación de la información necesaria para alimentar el modelo podría ser una importante limitante para el uso regular de la herramienta.
- Debido a la diferencia de precisión en la información con que se cuenta al comparar proyectos en distintas etapas del ciclo de vida, (etapa perfil versus etapa de factibilidad por ejemplo), los indicadores deben ser tales que su cálculo requiera información agregada, de fácil acceso y cuya fuente se mantenga actualizada.

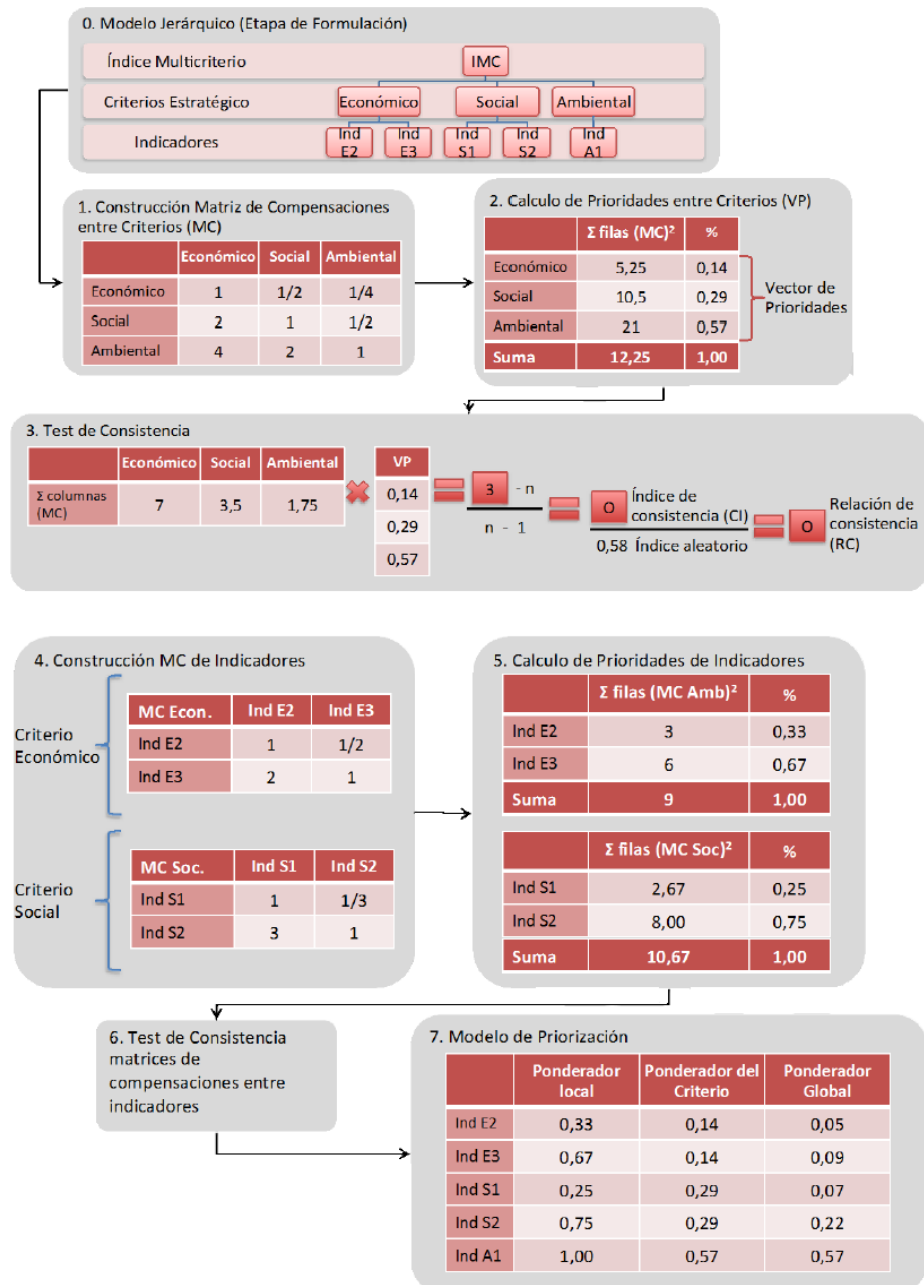
323. A continuación, para la aplicación de la metodología corresponde el desarrollo de las siguientes tareas:

- a) Definición de los subcriterios e indicadores para cada proceso de priorización.
- b) Definición del grupo de expertos que participará de la construcción de los pesos.
- c) Sesión de trabajo para la construcción de los pesos.
- d) Programación de la herramienta de priorización
- e) Aplicación de prueba.

324. Es importante señalar que la metodología de priorización multicriterio se emplea usualmente para la priorización de proyectos de infraestructura que ya han sido concebidos como parte de un Plan de Cuenca. Las principales limitaciones de la metodología MCA y AHP residen en la definición de los pesos en el sistema para la evaluación de los diferentes indicadores. Debido a que este proceso es definido por un grupo de actores, se debe tener un gran cuidado en este proceso para asegurar que se logra una asignación de pesos balanceada que permita una evaluación equilibrada de las diferentes alternativas. Las reglas para el proceso de definición de los pesos deben de ser claramente definidas para prevenir sesgos en el proceso y evitar que se seleccionen opciones “preferidas” por algunos de los participantes.

**Figura 7.2. Esquema Metodología para la Evaluación Multicriterio** (numbers shown as an example)





## 8 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

325. En Chile, la entidad pública responsable de la planeación y estructuración de las inversiones en infraestructura civil es el Ministerio de Obras Públicas (MOP). Durante el estudio que se ha realizado se ha identificado que el MOP, a través de la DIRPLAN, ha realizado grandes avances en la definición de una estructura de planeación a nivel nacional para la planeación de la provisión de infraestructura que es responsabilidad del MOP. Estos avances, la estructura de planeación y los procesos que actualmente están vigentes dentro del MOP se presentan en este trabajo, revisando de manera detallada los procesos a nivel nacional, local y sectorial, que se llevan a cabo para el desarrollo de los diferentes productos de la DOH.

326. A pesar de estos avances, el análisis que se ha realizado ha logrado identificar que aún existen aspectos que es fundamental atender para mejorar el proceso de planeación y mejorar la calidad de la inversión que se realiza en proyectos de infraestructura hidráulica. Los principales problemas identificados se refieren a la necesidad de vincular el diseño y proyección de proyectos de infraestructura hidráulica con la situación real de los recursos hídricos de la cuenca. Para lograr esto es necesario: (i) definir claramente el entorno geográfico de la planeación (para el cual el presente estudio sugiere la cuenca) y, establecer una metodología clara para la planeación de infraestructura en este entorno (guía para la elaboración de infraestructura hidráulica mediante planes de cuenca); (ii) fortalecer las capacidades técnicas de las instituciones a nivel central y a nivel regional; (iii) estructurar y propiciar espacios continuos para la participación de los distintos actores locales en la planeación de la infraestructura hidráulica; (iv) aclarar los roles de la CNR, DGA y DOH en la realización de estudios y proyección de la infraestructura hidráulica; (v) empoderar a la DIRPLAN como pieza fundamental en la planeación de infraestructura hidráulica y; (vi) mejorar los instrumentos, métodos e indicadores para la priorización de infraestructura hidráulica, permitiendo priorizar una cartera de proyectos de la misma naturaleza (obras de riego, manejo de cauces y aguas lluvia) y también la priorización de proyectos entre diferentes carteras.

327. Si bien el presente estudio propone una solución para esta última problemática, para una mejora sustancial del proceso de planeación se deberían atacar el resto de los retos identificados, principalmente la definición de un sistema de planeación a nivel de la cuenca, vinculando la realidad hidrológica con la definición de proyectos de infraestructura. La relevancia de desarrollar esta metodología ha sido particularmente clara durante el análisis del caso piloto en la cuenca de la Ligua-Petorca que se ha presentado en el presente trabajo. Durante este análisis se puso en evidencia la necesidad de contar con información y una modelación que represente los procesos hidráulicos de la cuenca bajo estudio, ya que con esta información, como se demostró en el caso de la Ligua Petorca, se puede realizar una planeación más adecuada a la realidad local y más informada sobre los posibles efectos que tendrá la infraestructura planeada en la zona.

328. La modelación realizada en la zona de estudio, con base en la actualización de la situación de la cuenca, permitió determinar el balance hídrico de la cuenca para diferentes escenarios, considerando los derechos

otorgados, la demanda real y distintas consideraciones hidrológicas. Como resultado se observa un importante déficit hídrico en la cuenca para todos los escenarios climáticos modelados (tanto años secos como húmedos) y para diferentes escenarios de demanda (con base en derechos otorgados y demanda real). También como resultado de este análisis se pone en evidencia un alto sobre otorgamiento de derechos de agua en la zona (los derechos de agua existentes son mucho mayores a la demanda real). Estos resultados subrayan la necesidad de revisar la disponibilidad hidrológica que existe en la región para la construcción de los embalses de riego se tienen planeados y de manera general refuerzan la idea que es necesario contar con una representación hidrológica de la cuenca (modelación) que provea la información necesaria para la planeación de infraestructura hidráulica con base en la realidad hidrológica.

329. En una segunda etapa, con ayuda del caso de estudio de la cuenca Ligua-Petorca y tomando en cuenta las dificultades de información presentes en este caso piloto, el presente estudio analizó y propuso una metodología, que actualmente se encuentra en implementación por parte de la Universidad de Chile.

330. A la luz de la experiencia internacional, de las recomendaciones de expertos y de la experiencia local, el presente estudio concluye que la metodología más adecuada para la priorización de la cartera de proyectos de la DOH deberá basarse en un proceso de Análisis Multicriterio e incorporado a este, un Proceso Analítico Jerárquico.

331. Los lineamientos de la metodología se presentan en la sección 7.1. La metodología sugerida podrá ser operacional para un funcionamiento a diferentes escalas: cuenca, región o a nivel nacional; incluye un proceso en 2 etapas: i) una etapa de priorización sectorial (los proyectos de cada producto estratégico de la DOH siendo priorizados de manera separada con indicadores específicos a cada producto) y; ii) una etapa de priorización multisectorial, con priorización de los proyectos de los 3 productos estratégicos, de manera conjunta (con indicadores comunes en las dimensiones económicas, sociales y ambientales).

332. La estructura de la metodología del modelo se propone en la figuras 7.1 y 7.2 en las que se muestra el proceso de planeación en dos etapas, primero, realizando una priorización dentro de cada una de las carteras de proyectos y segundo, realizando una priorización global entre proyectos de distinta naturaleza.

333. Así, este reporte, detalla la metodología de evaluación multicriterio para la priorización de proyectos de una misma cartera como se detalla en la figura 7.2. También se proponen algunos de los indicadores para la evaluación de estos proyectos en el Anexo 9. Sin embargo, estos indicadores y sus pesos aún necesitan ser validados por un grupo de planeación que se está constituyendo al interior del MOP. Con esta información la Universidad de Chile definirá la estructura detallada de la metodología a seguir.

334. Si bien, la propuesta del desarrollo y aplicación de esta metodología es una parte importante en la mejora del proceso de planeación, es necesario atender otros aspectos fundamentales en respuesta a los retos que han sido identificados en el presente estudio. Una estrategia integral de mejora del sistema de planeación para Chile sería una herramienta importante para mejorar la eficiencia y calidad de la inversión pública.

## 9 REFERENCIAS

ANDESS (2012), *Agua y Medio Ambiente ¿Cuáles son los desafíos y oportunidades para una gestión más sostenible, justa y transparente del recurso hídrico?*, ANDESS, CIPMA, Santiago de Chile, Enero 2012.

BM 2011, *Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos*, BM (Banco Mundial), Washington DC, USA.

Cámara de Diputados, 2012. Informe de la comisión investigadora encargada de analizar las extracciones ilegales de aguas y áridos en los ríos del país. Página Web:

<http://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=732&prmTIPO=INVESTIGAFIN>. Consulta en línea efectuada el 28 de febrero de 2013.

CNR. 2004. Diagnóstico de la infraestructura de riego extrapredial de los ríos Ligua y Petorca de la V Región y proposición de un plan de contingencia para eventos de sequía. Informe Final. Estudio realizado por CICA Ingenieros Consultores.

CNR (Comisión Nacional de Riego). 2011. Estudio diagnóstico de los recursos subterráneos en el sistema hídrico Ligua y Petorca. Estudio realizado por GCF Ingenieros Ltda.

COCHILCO (2009) *Gestión del recurso hídrico y a minería en Chile: proyección consumo de agua en la minería del cobre 2009-2020*. Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO) Santiago.- CONAF-CONAMA-BIRF.  
1999. *Catastro y evaluación de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, 1994-1997*. Informe Nacional con variables ambientales. Santiago, Chile, 89 pp.

DGA. 1998. *Análisis y evaluación de los recursos hídricos de las cuencas de los ríos Petorca y Ligua*. Estudio elaborado por IPLA-AC Ingenieros.

DGA. 2006. *Evaluación de los recursos hídricos superficiales de las cuencas de los ríos Petorca y La Ligua Va región*. S.D.T. N° 226.

DGA, 2008. Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos. Página Web: <http://documentos.dga.cl/ADM5016.pdf>. Consulta en línea efectuada el 06 de junio de 2013.

DGA (Dirección General de Aguas). 2012. Programa de diagnóstico de titulares de derechos de aprovechamiento de aguas de los acuíferos de río La Ligua y Petorca. Elaborado Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, Universidad de Chile.

DOH. 2003. Diagnóstico de Obras de Riego en los Valles de La Ligua y Petorca, V Región. Estudio elaborado por CYGSA S.A.

DOH (Dirección de Obras Hidráulicas). 2006. Obras de Regulación para los Valles de La Ligua y Petorca. V Región – DOH – MOP. Estudio realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda.

Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (1999). *El Código de Aguas de Chile: Entre la ideología y la realidad*. Debate Agrario 29, 138-185. Santiago.

IANAS & FCCyT (2012) Diagnóstico del Agua en las Américas. Capítulo: El sector del agua en Chile: su estado y sus retos. Red Interamericana De Academias de Ciencias (IANAS) & Foro Consultivo Científico y Tecnológico (FCCyT). México DF.

Instituto de Ingenieros de Chile (IICH), 2011. *Temas Prioritarios para una Política Nacional de Recursos Hídricos*, Comisión de Aguas. Santiago de Chile.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. *Fourth Assessment Report*, WMO, UNEP

Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2013. *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos*.

OECD (2012a), *Meeting the Water Reform Challenge*, *OECD Studies on Water*, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264170001-en>

OECD (2012b), *Water Governance in Latin America and the Caribbean, A Multi-Level Approach*, OECD Publishing.<http://dx.doi.org/10.1787/9789264170001-en>

Peña, H. (2004) *Agua, Desarrollo y Políticas Públicas. Estrategias para la Inserción del Agua en el Desarrollo Sostenible*. Santiago.

Peña, H. (2009) *Taking it one step at a time: Chile's sequential, adaptative approach to achieving the three Es.*|| En: *Integrated Water Resources Management in Practice: Better Water Management for Development*. Editado por R. Lenton y M. Muller. Global WaterPartnership. Earthscan, London.

Vergara, A. (2012) *Focalizando la agenda de un recurso común: el desafío de potenciar la autogestión de las aguas en Chile*. Temas de la Agenda Pública. Centro de Políticas Públicas, año 7, N°56. Santiago.

## ANEXO 1.

Fichas técnicas de los proyectos futuros contemplados en las cuencas Ligua y Petorca

<h3 style="margin: 0;">FICHA DE PROYECTOS DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS</h3>
---

I	ANTECEDENTES GENERALES	
		<b>CONSTRUCCION SISTEMA DE REGADIO</b>
<b>1</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>- VALLE DE PETORCA I ETAPA - EMBALSE LAS PALMAS</b>
<b>2</b>	<b>CÓDIGO BIP MIDEPLAN</b>	30039957-0
2.1	Inversión Total (\$)	53560000
2.2	Gasto hasta el 2012 (\$)	s/i
2.3	Gasto estimado 2013 (\$)	s/i
<b>3</b>	<b>ETAPA AVANCE TERMINADA</b>	Factibilidad
3.1	Año Inicio	2007
3.2	Año Término	2008
3.3	Consultor	AC Ingenieros Consultores Ltda.
3.4	Institución-Mandante	DOH
3.5	Ubicación Física Documentos	DOH Nivel Central
<b>4</b>	<b>ETAPA EN EJECUCION</b>	Diseño
4.1	Año Inicio	2009
4.2	Año Término	2011
4.3	Consultor	Arcadis - Geotécnica
4.4	Institución-Mandante	DOH

II	UBICACIÓN PROYECTO	
<b>1</b>	<b>REGIÓN</b>	V Región de Valparaíso
<b>2</b>	<b>PROVINCIA</b>	PETORCA
<b>3</b>	<b>COMUNA</b>	PETORCA
<b>4</b>	<b>CUENCA / Código DGA</b>	RÍO LIGUA <span style="float: right;">Cod. 5 DGA 2</span>
<b>5</b>	<b>SUB CUENCA / Código DGA</b>	RÍO LIGUA BAJO (ENTRE EST. LOS ÁNGELES Y DESEMBOCADURA) <span style="float: right;">Cod. 5 DGA 2 2</span>
<b>6</b>	<b>FUENTE ABASTECIMIENTO</b>	Sobre el estero Las Palmas
<b>7</b>	<b>COORDENADAS <sup>(1)</sup></b>	N = 6415527 <span style="float: right;">E = 3071 00</span>
Nota (1) : Datum WGS84 Huso 19 en todas la zonas (Para uso en SIG)		



<b>III ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b>		
<b>1</b>	<b>OBJETIVO PROYECTO</b>	Mejorar la distribución geográfica de la superficie de aumento de riego, uniformidad de riego a lo largo del valle y lograr un desarrollo agrícola integral.
1.1	Propósito del Proyecto	Riego y reducción de crecidas.
<b>2</b>	<b>CARACTERÍSTICA EMBALSE</b>	
2.1	Tipo Presa	Muro de tierra de 70 m de altura, y taludes 1:2 aguas arriba y 1:1,75 aguas abajo, el muro consta de un cuerpo homogéneo de un material semi impermeable.
2.2	Altura Muro (m)	70
2.3	Área Inundación (Há)	269.5
2.4	Caudales Diseño Vertedero (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ma</sub> =0,76 Q (Tr=100)=410 Q(Tr=500)=510 Q(Tr=1000)=550
2.5	Volumen de Regulación (millones de m <sup>3</sup> )	55
2.6	Estacionalidad Embalse	Multianual
<b>3</b>	<b>BENEFICIARIOS</b>	
3.1	Org. de Usuarios Involucrados	No existe organización formalmente constituida; sólo existen usuarios y comunidades con derechos de agua.
3.2	N° personas beneficiadas	1367
3.3	Comunidades Indígenas beneficiadas	No indica comunidades indígenas beneficiadas por el proyecto
<b>4</b>	<b>SITUACION AGRONOMICA</b>	
4.1	Superficie Mejorada (Há)	3,405
4.2	Superficie Nueva (Há)	3,691
<b>5</b>	<b>DERECHOS DE AGUA</b>	
5.1	Situación	La mayoría de los agricultores cuenta con derechos superficiales, en la medida que los sectores se alejan de las primeras entregas de agua, la utilización de este recurso es prácticamente nula debido a la falta de agua en los canales. La Dirección de Obras Hidráulicas ha solicitado un derecho de aprovechamiento consuntivo de aguas superficiales y corrientes del estero Las Palmas, de ejercicio eventual y continuo, por un caudal de 55 millones de m <sup>3</sup> /año.
5.2	Caudal Involucrado	55 hm <sup>3</sup> /año
<b>6</b>	<b>OBRAS ANEXAS</b>	La captación de aguas se realizará mediante una torre de 25 m de alto y 6 m de diámetro, con orificios en la parte superior de esta. La entrada estará regulada por una válvula mariposa de acero inoxidable de 24" de diámetro, seguida por una segunda válvula de esfera de acero inoxidable de 24".

<b>IV EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>						
<b>1</b>	<b>AÑO BASE EVALUACIÓN</b>	Mes/Año	Jun-06			
<b>2</b>	<b>INVERSIÓN ESTUDIOS</b>	Pesos (\$)	No Registra		UF	
<b>3</b>	<b>EVALUACIÓN</b>	Privada			Social	
3.1	INVERSIÓN (\$)	Sin Información			74,067,000,000	
3.2	INVERSIÓN (UF)	-			4,080,512	
3.3	TASA DESCUENTO (%)	-			8	
3.4	VAN (\$)	-			30,436,083,523	
3.5	VAN (UF)	-			1,676,790	
3.6	TIR (%)	-			10.50	
<b>4</b>	<b>OTROS</b>	La inversión incluye IVA, Gastos Generales, Utilidades, Costos de Expropiaciones y Mitigación de impactos Ambientales. La evaluación económica se efectúa considerando de manera conjunta los embalses de Las Palmas y Pedernal, por lo que la inversión corresponde a la de ambos embalses, MM\$43.326 para embalse Las Palmas, MM\$30.740 para embalse Pedernales.				

<b>V GENERACION HIDROELÉCTRICA</b>						
<b>1</b>	<b>CONSIDERA GENERACIÓN</b>	<b>SI</b>		<b>NO</b>	<b>X</b>	
1.1	Caudal de Generación	Sin Información		(m3/s)		
1.2	Altura Caída	-		(m)		
1.3	Potencia	-		KW		
<b>2</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>	Año Base Evaluación			Sin Información	
2.1	Inversión	Pesos (\$)	-		UF	-
2.2	Tasa Descuento (%)					
2.3	VAN	Pesos (\$)	-		UF	-
2.4	TIR	-				

## FICHA DE PROYECTOS DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS

<b>I ANTECEDENTES GENERALES</b>	
<b>1 NOMBRE</b>	<b>ESTUDIO DE FACTIBILIDAD OBRAS DE REGULACIÓN PARA LOS VALLES DE LA LIGUA Y PETORCA - EMBALSE PEDERNAL</b>
<b>2 CÓDIGO BIP MIDEPLAN</b>	30083246-0
2.1 Inversión Total (\$)	
2.2 Gasto hasta el 2012 (\$)	s/i
2.3 Gasto estimado 2013 (\$)	s/i
<b>3 ETAPA AVANCE TERMINADA</b>	Factibilidad
3.1 Año Inicio	
3.2 Año Término	2008
	AC
3.3 Consultor	Ingenieros Consultores Ltda.
3.4 Institución-Mandante	DOH
3.5 Ubicación Física Documentos	DOH Nivel Central
<b>4 ETAPA EN EJECUCION</b>	Diseño
4.1 Año Inicio	
4.2 Año Termino	2011
4.3 Consultor	Arcadis - Geotécnica
4.4 Institución-Mandante	DOH

<b>II UBICACIÓN PROYECTO</b>			
<b>1 REGIÓN</b>	V Región de Valparaíso		
<b>2 PROVINCIA</b>	PETORCA		
<b>3 COMUNA</b>	PETORCA		
<b>4 CUENCA / Código DGA</b>	RÍO LIGUA	Cod. DGA	51
<b>5 SUB CUENCA / Código DGA</b>	RÍO PETORCA ALTO (HASTA DESPUES JUNTA R. SOBRANTE)	Cod. DGA	510
<b>6 FUENTE ABASTECIMIENTO</b>	Sobre el estero Las Palmas		
<b>7 COORDENADAS (1)</b>	N = 6436725	E = 329337	
Nota (1) : Datum WGS84 Huso 19 en todas la zonas (Para uso en SIG)			

<b>III ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b>		
<b>1</b>	<b>OBJETIVO PROYECTO</b>	Mejorar la distribución geográfica de la superficie de aumento de riego, uniformidad de riego a lo largo del valle y lograr un desarrollo agrícola integral.
1.1	Propósito del Proyecto	Riego y reducción de crecidas.
<b>2</b>	<b>CARACTERÍSTICA EMBALSE</b>	
2.1	Tipo Presa	Muro de tierra de 35 m de altura, y taludes 1:2 aguas arriba y 1:1,75 aguas abajo, la sección transversal del muro se compone de un núcleo impermeable entre dos espaldones.
2.2	Altura Muro (m)	35 m
2.3	Área Inundación (Há)	208.3 Há
2.4	Caudales Diseño Vertedero (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ma</sub> =0,638 Q <sub>mp</sub> =431,17
2.5	Volumen de Regulación (millones de m <sup>3</sup> )	31 Millones m <sup>3</sup>
2.6	Estacionalidad Embalse	Multianual
<b>3</b>	<b>BENEFICIARIOS</b>	
3.1	Org. de Usuarios Involucrados	No existe organización del río; sólo existen usuarios y comunidades con derechos de agua.
3.2	Nº personas beneficiadas	605
3.3	Comunidades Indígenas beneficiadas	No indica comunidades indígenas beneficiadas por el proyecto
<b>4</b>	<b>SITUACION AGRONOMICA</b>	
4.1	Superficie Mejorada (Há)	941
4.2	Superficie Nueva (Há)	1,507
<b>5</b>	<b>DERECHOS DE AGUA</b>	
5.1	Situación	La mayoría de los agricultores cuenta con derechos superficiales, en la medida que los sectores se alejan de las primeras entregas de agua, la utilización de este recurso es prácticamente nula debido a la falta de agua en los canales. La Dirección de Obras Hidráulicas ha solicitado un derecho de aprovechamiento consuntivo de aguas superficiales y corrientes del estero Las Palmas, de ejercicio eventual y continuo, por un caudal de 31 millones de m <sup>3</sup> /año.
5.2	Caudal Involucrado	31 hm <sup>3</sup> /año La captación de aguas se realizará mediante una torre de 15 m de alto y 4 m de diámetro, con orificios en la parte superior de esta.
<b>6</b>	<b>OBRAS ANEXAS</b>	La entrada estará regulada por una válvula mariposa de acero inoxidable de 24" de diámetro, seguida por una segunda válvula de esfera de acero inoxidable de 24".

<b>IV EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>						
<b>1</b>	<b>AÑO BASE EVALUACIÓN</b>	Mes/Año	Jun-06			
<b>2</b>	<b>INVERSIÓN ESTUDIOS</b>	Pesos (\$)	No Registra		UF	
<b>3</b>	<b>EVALUACIÓN</b>	Privada			Social	
3.1	INVERSIÓN (\$)	Sin Información			74,067,000,000	
3.2	INVERSIÓN (UF)	-			4,080,512	
3.3	TASA DESCUENTO (%)	-			8	
3.4	VAN (\$)	-			30,436,083,523	
3.5	VAN (UF)	-			1,676,790	
3.6	TIR (%)	-			10.50	
<b>4</b>	<b>OTROS</b>	<p>La inversión incluye IVA, Gastos Generales, Utilidades, Costos de Expropiaciones y Mitigación de impactos Ambientales. La evaluación económica se efectúa considerando de manera conjunta los embalses de Las Palmas y Pedernal, por lo que la inversión corresponde a la de ambos embalses, MM\$43.326 para embalse Las Palmas, MM\$30.740 para embalse Pedernales.</p>				

<b>V GENERACION HIDROELÉCTRICA</b>						
<b>1</b>	<b>CONSIDERA GENERACIÓN</b>	<b>SI</b>		<b>NO</b>	<b>X</b>	
1.1	Caudal de Generación	Sin Información		(m3/s)		
1.2	Altura Caída	-		(m)		
1.3	Potencia	-		KW		
<b>2</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>	Año Base Evaluación			Sin Información	
2.1	Inversión	Pesos (\$)	-		UF	-
2.2	Tasa Descuento (%)					
2.3	VAN	Pesos (\$)	-		UF	-
2.4	TIR	-				

## FICHA DE PROYECTOS DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS

<b>I ANTECEDENTES GENERALES</b>	
<b>1</b>	<b>NOMBRE</b> - ESTUDIO DE FACTIBILIDAD OBRAS DE REGULACIÓN PARA LOS VALLES DE LA LIGUA Y PETORCA - EMBALSE LOS ANGELES
<b>2</b>	<b>CÓDIGO BIP MIDEPLAN</b> 30083245-0
2.1	Inversión Total (\$)
2.2	Gasto hasta el 2012 (\$) s/i
2.3	Gasto estimado 2013 (\$) s/i
<b>3</b>	<b>ETAPA AVANCE TERMINADA</b> Factibilidad
3.1	Año Inicio 2007
3.2	Año Término 2008
3.3	Consultor AC Ingenieros Consultores Ltda.
3.4	Institución-Mandante DOH
3.5	Ubicación Física Documentos DOH Nivel Central
<b>4</b>	<b>ETAPA EN EJECUCION</b> Diseño
4.1	Año Inicio 2009
4.2	Año Termino 2011
4.3	Consultor Arcadis - Geotécnica
4.4	Institución-Mandante DOH

<b>II UBICACIÓN PROYECTO</b>	
<b>1</b>	<b>REGIÓN</b> V Región de Valparaíso
<b>2</b>	<b>PROVINCIA</b> PETORCA
<b>3</b>	<b>COMUNA</b> CABILDO
<b>4</b>	<b>CUENCA / Código DGA</b> RÍO LIGUA Cod. DGA 52
<b>5</b>	<b>SUB CUENCA / Código DGA</b> RÍO LIGUA MEDIO (ENTRE Q. LA CERRADA Y LOS ANGELES) Cod. DGA 522
<b>6</b>	<b>FUENTE ABASTECIMIENTO</b> Estero Los Angeles a unos 2 km.
<b>7</b>	<b>COORDENADAS (1)</b> N = 6401531 E = 317880
Nota (1) : Datum WGS84 Huso 19 en todas la zonas (Para uso en SIG)	

<b>III ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b>		
<b>1</b>	<b>OBJETIVO PROYECTO</b>	Mejorar la distribución geográfica de la superficie de aumento de riego, uniformidad de riego a lo largo del valle y lograr un desarrollo agrícola integral.
1.1	Propósito del Proyecto	Riego y reducción de crecidas.
<b>2</b>	<b>CARACTERÍSTICA EMBALSE</b>	
2.1	Tipo Presa	Muro de tierra de 41 m de altura, y taludes 1:2 aguas arriba y 1:1,75 aguas abajo, el muro consta de un cuerpo granular y núcleo central de materiales arcillosos.
2.2	Altura Muro (m)	41
2.3	Área Inundación (Há)	369.1
2.4	Caudales Diseño Vertedero (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ma</sub> =0,56 Q (Tr=100)=580 Q(Tr=500)=680 Q(Tr=1000)=740
2.5	Volumen de Regulación (millones de m <sup>3</sup> )	51
2.6	Estacionalidad Embalse	Multianual
<b>3</b>	<b>BENEFICIARIOS</b>	
3.1	Org. de Usuarios Involucrados	No existe organización formalmente constituida; sólo existen usuarios y comunidades con derechos de agua.
3.2	Nº personas beneficiadas	1574
3.3	Comunidades Indígenas beneficiadas	No indica comunidades indígenas beneficiadas por el proyecto
<b>4</b>	<b>SITUACION AGRONOMICA</b>	
4.1	Superficie Mejorada (Há)	1,848
4.2	Superficie Nueva (Há)	3,443
<b>5</b>	<b>DERECHOS DE AGUA</b>	
5.1	Situación	La mayoría de los agricultores cuenta con derechos superficiales, en la medida que los sectores se alejan de las primeras entregas de agua, la utilización de este recurso es prácticamente nula debido a la falta de agua en los canales. La Dirección de Obras Hidráulicas ha solicitado un derecho de aprovechamiento consuntivo de aguas superficiales y corrientes del estero Los Ángeles, de ejercicio eventual y continuo, por un caudal de 51 millones de m <sup>3</sup> /año.
5.2	Caudal Involucrado	51 hm <sup>3</sup> /año La captación de aguas se realizará mediante una torre de 15 m de alto y 7 m de diámetro, con orificios en la parte superior de esta.
<b>6</b>	<b>OBRAS ANEXAS</b>	La entrada estará regulada por una válvula mariposa de acero inoxidable de 24" de diámetro, seguida por una segunda válvula de esfera de acero inoxidable de 24".

<b>IV EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>						
<b>1</b>	<b>AÑO BASE EVALUACIÓN</b>	Mes/Año	Jun-06			
<b>2</b>	<b>INVERSIÓN ESTUDIOS</b>	Pesos (\$)	No Registra		UF	
<b>3</b>	<b>EVALUACIÓN</b>	Privada			Social	
3.1	INVERSIÓN (\$)	Sin Información		89,841,000,000		
3.2	INVERSIÓN (UF)	-		4,949,536		
3.3	TASA DESCUENTO (%)	-		8		
3.4	VAN (\$)	-		4,880,474,037		
3.5	VAN (UF)	-		268,876		
3.6	TIR (%)	-		8.40		
<b>4</b>	<b>OTROS</b>	La inversión incluye IVA, Gastos Generales, Utilidades, Costos de Expropiaciones y Mitigación de impactos Ambientales. La evaluación económica se efectúa considerando de manera conjunta los embalses de Las Palmas y Pedernal, por lo que la inversión corresponde a la de ambos embalses, MM\$37.375 para embalse Los Angeles, MM\$52.490 para embalse Alicahue.				

<b>V GENERACION HIDROELÉCTRICA</b>						
<b>1</b>	<b>CONSIDERA GENERACIÓN</b>	<b>SI</b>		<b>NO</b>	<b>X</b>	
1.1	Caudal de Generación	Sin Información		(m <sup>3</sup> /s)		
1.2	Altura Caída	-		(m)		
1.3	Potencia	-		KW		
<b>2</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>	Año Base Evaluación			Sin Información	
2.1	Inversión	Pesos (\$)	-		UF	-
2.2	Tasa Descuento (%)					
2.3	VAN	Pesos (\$)	-		UF	-
2.4	TIR	-				



<b>VI ANÁLISIS AMBIENTAL Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA (PAC)</b>							
<b>1 ANÁLISIS AMBIENTAL</b>	Se observan impactos negativos significativos, en especial en las actividades de la etapa de construcción, y en menos grado, durante la etapa de operación. Estos impactos son relativos fundamentalmente a la afectación de la biota del sector, el traslado de la población debido a que la parte de la localidad de Guayacán se encuentra bajo la cota de inundación y la pérdida de suelo relativo al área de inundación.						
1.1 Principales Impactos							
1.2 Costos de Mitigación	<table border="1"> <tr> <td>Mes/Año</td> <td>Nov-06</td> <td>Pesos (\$)</td> <td>1071000000</td> <td>UF</td> <td>58279</td> </tr> </table>	Mes/Año	Nov-06	Pesos (\$)	1071000000	UF	58279
Mes/Año	Nov-06	Pesos (\$)	1071000000	UF	58279		
<b>2 CONCLUSIONES PAC</b>	La participación ciudadana para el estudio de factibilidad técnica de la construcción de obras de riego para los valles de la Ligua y Petorca, no está concluido. Como análisis preliminar de la situación, la comunidad se muestra consciente del problema de la seguridad de riego en la zona y por ende en su mayoría se presentan con una actitud positiva ante la construcción de obras de riego.						

<b>VII OBSERVACIONES</b>	
(1).	La evaluación económica sólo se realiza a nivel social, considerando de manera conjunta los embalses de Las Angeles y Alicahue (Valle La Ligua)}
(2).	La superficie total de riego beneficiada corresponde a 5.291 há (III.4.1 Superficie Mejorada + III.4.2 Superficie Nueva).

<b>VIII UBICACIÓN A NIVEL COMUNAL</b>
---------------------------------------

<b>IX IMAGEN SATELITAL</b>
----------------------------

## FICHA DE PROYECTOS DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS

<b>I ANTECEDENTES GENERALES</b>	
<b>1</b>	<b>NOMBRE - ESTUDIOS DE INGENIERIA EMBALSE ALICAHUE</b>
<b>2</b>	<b>CÓDIGO BIP MIDEPLAN</b>
2.1	Inversión Total (\$) 603032
2.2	Gasto hasta el 2012 (\$) 603032
2.3	Gasto estimado 2013 (\$) 0
<b>3</b>	<b>ETAPA AVANCE</b>
	Factibilidad
<b>3</b>	<b>TERMINADA</b>
3.1	Año Inicio 2007
3.2	Año Término 2008
3.3	Consultor AC Ingenieros Consultores Ltda.
3.4	Institución-Mandante DOH
3.5	Ubicación Física Documentos DOH Nivel Central
<b>4</b>	<b>ETAPA EN EJECUCION</b>
	Diseño
4.1	Año Inicio 2009
4.2	Año Termino 2011
4.3	Consultor Arcadis - Geotécnica
4.4	Institución-Mandante DOH

<b>II UBICACIÓN PROYECTO</b>	
<b>1</b>	<b>REGIÓN</b> V Región de Valparaíso
<b>2</b>	<b>PROVINCIA</b> PETORCA
<b>3</b>	<b>COMUNA</b> CABILDO
<b>4</b>	<b>CUENCA / Código DGA</b> RÍO Cod. 52 LIGUA DGA
<b>5</b>	<b>SUB CUENCA / Código DGA</b> RÍO LIGUA ALTO (ESTERO Cod. 522 ALICAHUE) DGA
<b>6</b>	<b>FUENTE</b> Sobre estero Alicahue
<b>6</b>	<b>ABASTECIMIENTO</b>
<b>7</b>	<b>COORDENADAS (1)</b> N = 6422626 E = 340817
Nota (1) : Datum WGS84 Huso 19 en todas la zonas (Para uso en SIG)	

<b>III ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b>		
<b>1</b>	<b>OBJETIVO PROYECTO</b>	Mejorar la distribución geográfica de la superficie de aumento de riego, uniformidad de riego a lo largo del valle y lograr un desarrollo agrícola integral.
1.1	Propósito del Proyecto	Riego y reducción de crecidas.
<b>2</b>	<b>CARACTERÍSTICA EMBALSE</b>	
2.1	Tipo Presa	Muro de tierra de 97 m de altura, y taludes 1:1,85 aguas arriba y 1:1,75 aguas abajo, el muro corresponde a un muro homogéneo.
2.2	Altura Muro (m)	97
2.3	Área Inundación (Há)	160
2.4	Caudales Diseño Vertedero (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>ma</sub> =1,59 Q <sub>mp</sub> =423,57
2.5	Volumen de Regulación (millones de m <sup>3</sup> )	56
2.6	Estacionalidad Embalse	Multianual
<b>3</b>	<b>BENEFICIARIOS</b>	
3.1	Org. de Usuarios Involucrados	No existe organización formalmente constituida; sólo existen usuarios y comunidades con derechos de agua.
3.2	Nº personas beneficiadas	3993
3.3	Comunidades Indígenas beneficiadas	No indica comunidades indígenas beneficiadas por el proyecto
<b>4</b>	<b>SITUACION AGRONOMICA</b>	
4.1	Superficie Mejorada (Há)	2,162
4.2	Superficie Nueva (Há)	2,296
<b>5</b>	<b>DERECHOS DE AGUA</b>	
5.1	Situación	La mayoría de los agricultores cuenta con derechos superficiales, en la medida que los sectores se alejan de las primeras entregas de agua, la utilización de este recurso es prácticamente nula debido a la falta de agua en los canales. La Dirección de Obras Hidráulicas ha solicitado un derecho de aprovechamiento consuntivo de aguas superficiales y corrientes del estero Alicahue, de ejercicio eventual y continuo, por un caudal de 56 millones de m <sup>3</sup> /año.
5.2	Caudal Involucrado	56 hm <sup>3</sup> /año La captación de aguas se realizará mediante una torre de 20 m de alto y 5 m de diámetro, con orificios en la parte superior de esta.
<b>6</b>	<b>OBRAS ANEXAS</b>	La entrada estará regulada por una válvula mariposa de acero inoxidable de 24" de diámetro, seguida por una segunda válvula de esfera de acero inoxidable de 24".

<b>IV EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>						
<b>1</b>	<b>AÑO BASE EVALUACIÓN</b>	Mes/Año	Jun-06			
<b>2</b>	<b>INVERSIÓN ESTUDIOS</b>	Pesos (\$)	No Registra		UF	
<b>3</b>	<b>EVALUACIÓN</b>	Privada			Social	
3.1	INVERSIÓN (\$)	Sin Información			89,841,000,000	
3.2	INVERSIÓN (UF)	-			4,949,536	
3.3	TASA DESCUENTO (%)	-			8	
3.4	VAN (\$)	-			4,880,474,037	
3.5	VAN (UF)	-			268,876	
3.6	TIR (%)	-			8.40	
<b>4</b>	<b>OTROS</b>	<p>La inversión incluye IVA, Gastos Generales, Utilidades, Costos de Expropiaciones y Mitigación de impactos Ambientales. La evaluación económica se efectúa considerando de manera conjunta los embalses de Las Palmas y Pedernal, por lo que la inversión corresponde a la de ambos embalses, MM\$37.375 para embalse Los Angeles, MM\$52.490 para embalse Alicahue.</p>				

<b>V GENERACION HIDROELÉCTRICA</b>						
<b>1</b>	<b>CONSIDERA GENERACIÓN</b>	<b>SI</b>		<b>NO</b>	<b>X</b>	
1.1	Caudal de Generación	Sin Información		(m3/s)		
1.2	Altura Caída	-		(m)		
1.3	Potencia	-		KW		
<b>2</b>	<b>EVALUACIÓN ECONÓMICA</b>	Año Base Evaluación			Sin Información	
2.1	Inversión	Pesos (\$)	-		UF	-
2.2	Tasa Descuento (%)					
2.3	VAN	Pesos (\$)	-		UF	-
2.4	TIR	-				

<b>VI ANÁLISIS AMBIENTAL Y PARTICIPACIÓN CIUDADANA (PAC)</b>							
<b>1</b>	<p><b>ANÁLISIS AMBIENTAL</b></p> <p>Se observan impactos negativos significativos, en especial en las actividades de la etapa de construcción, y en menos grado, durante la etapa de operación. Estos impactos son relativos fundamentalmente a la afectación de la biota del sector, el traslado de la población debido a que la parte de la localidad de Guayacán se encuentra bajo la cota de inundación y la pérdida de suelo relativo al área de inundación.</p>						
1.1	Principales Impactos						
1.2	Costos de Mitigación						
	<table border="0"> <tr> <td>Mes/Año</td> <td>S/Inform.</td> <td>Pesos (\$)</td> <td>S/Inform.</td> <td>UF</td> <td>S/Inform.</td> </tr> </table>	Mes/Año	S/Inform.	Pesos (\$)	S/Inform.	UF	S/Inform.
Mes/Año	S/Inform.	Pesos (\$)	S/Inform.	UF	S/Inform.		
<b>2</b>	<p><b>CONCLUSIONES PAC</b></p> <p>La participación ciudadana para el estudio de factibilidad técnica de la construcción de obras de riego para los valles de la Ligua y Petorca, no está concluido. Como análisis preliminar de la situación, la comunidad se muestra consciente del problema de la seguridad de riego en la zona y por ende en su mayoría se presentan con una actitud positiva ante la construcción de obras de riego.</p>						

<b>VII OBSERVACIONES</b>	
(1).	La evaluación económica sólo se realiza a nivel social, considerando de manera conjunta los embalses de Las Angeles y Alicahue (Valle La Ligua)
(2).	La superficie total de riego beneficiada corresponde a 4.458 há (III.4.1 Superficie Mejorada + III.4.2 Superficie Nueva).

<b>VIII UBICACIÓN A NIVEL COMUNAL</b>
---------------------------------------

**FICHA DE PROYECTOS DIRECCIÓN DE OBRAS  
HIDRÁULICAS**

<b>I ANTECEDENTES GENERALES</b>	
<b>1</b>	<b>NOMBRE</b> - CONSERVACION RIBERAS CAUCES NATURALES REGION DE VALPARAISO PROVINCIAS DE SAN ANTONIO, SAN FELIPE, QUILLOTA Y PETORCA
<b>2</b>	<b>CÓDIGO BIP MIDEPLAN</b> 30080474-0
2.1	Inversión Total (\$) 174,051
2.2	Gasto hasta el 2012 (\$) 0
2.3	Gasto estimado 2013 (\$) 174,051
<b>3</b>	<b>ETAPA AVANCE</b> EJECUCION <b>TERMINADA</b>
3.1	Año Inicio
3.2	Año Término
3.3	Consultor
3.4	Institución-Mandante
3.5	Ubicación Física Documentos
<b>4</b>	<b>ETAPA EN EJECUCION</b> ENVIADO EN MODIFICACION PRESUPUESTARIA
4.1	Año Inicio
4.2	Año Termino
4.3	Consultor
4.4	Institución-Mandante

<b>II UBICACIÓN PROYECTO</b>	
<b>1</b>	<b>REGIÓN</b> V Región de Valparaíso
<b>2</b>	<b>PROVINCIA</b> INTERPROVINCIAL
<b>3</b>	<b>COMUNA</b> INTERCOMUNAL
<b>4</b>	<b>CUENCA / Código DGA</b> Cod. DGA
<b>5</b>	<b>SUB CUENCA / Código DGA</b> Cod. DGA
<b>6</b>	<b>FUENTE ABASTECIMIENTO</b>
<b>7</b>	<b>COORDENADAS (1)</b> N = 0 E = 0
Nota (1) : Datum WGS84 Huso 19 en todas la zonas (Para uso en SIG)	

## FICHA DE PROYECTOS DIRECCIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS

<b>I ANTECEDENTES GENERALES</b>			
<b>1</b>	<b>NOMBRE</b>	-	<b>CONSTRUCCION OBRAS DE EMERGENCIA DE DEFENSAS FLUVIALES VARIOS CAUCES</b>
<b>2</b>	<b>CÓDIGO BIP MIDEPLAN</b>		27000241-0
2.1	Inversión Total (\$)		657,060
2.2	Gasto hasta el 2012 (\$)		657,060
2.3	Gasto estimado 2013 (\$)		0
<b>3</b>	<b>ETAPA AVANCE TERMINADA</b>		<b>EJECUCION</b>
3.1	Año Inicio		
3.2	Año Término		
3.3	Consultor		
3.4	Institución-Mandante		
3.5	Ubicación Física Documentos		
<b>4</b>	<b>ETAPA EN EJECUCION</b>		<b>TERMINADO</b>
4.1	Año Inicio		
4.2	Año Termino		
4.3	Consultor		
4.4	Institución-Mandante		
<b>II UBICACIÓN PROYECTO</b>			
<b>1</b>	<b>REGIÓN</b>		V Región de Valparaíso
<b>2</b>	<b>PROVINCIA</b>		0
<b>3</b>	<b>COMUNA</b>		0
<b>4</b>	<b>CUENCA / Código DGA</b>		Cod. DGA
<b>5</b>	<b>SUB CUENCA / Código DGA</b>		Cod. DGA
<b>6</b>	<b>FUENTE ABASTECIMIENTO</b>		
<b>7</b>	<b>COORDENADAS (1)</b>	N = 0	E = 0
Nota (1) : Datum WGS84 Huso 19 en todas la zonas (Para uso en SIG)			

## ANEXO 2.

### Actualización de la superficie de uso agrícola en las cuencas La Ligua y Petorca

**Tabla 2.1 Frutales por comuna y estado productivo (activo/inactivo).**

Tipo de Frutal	Comunas															SubTotal de Cultivo		TOTAL
	Cabildo			La Ligua			Papudo			Petorca			Putendo			Activo	Inactivo	
	Activo	Inactivo	Total	Activo	Inactivo	Total	Activo	Inactivo	Total	Activo	Inactivo	Total	Activo	Inactivo	Total			
Almendro	182,0	10,5	192,5	37,0	67,3	104,4	0	0	0	15,4	2,3	17,7	0	0	0	234,4	80,1	314,5
Arándano	21,3	0	21,3	0	0	0	0	0	0	32,6	3	35,1	0	0	0	53,9	2,5	56,4
Cerezos	10,6	0	10,6	4	0	3,7	0	0	0	31,4	0	31,4	0	0	0	45,8	0	45,8
Ciruelos	5,5	0	5,5	6	0	6,4	0	0	0	6,0	0	6,0	0	0	0	17,8	0	17,8
Cítricos	363,7	18,7	382,4	211,8	30,3	242,2	2,5	0	2,8	271,3	83,0	354,3	0	0	0	849,2	132,3	981,6
Frutal camellones	0	187,0	187,0	0	156,5	156,5	0	0,6	0,6	0	75,5	75,5	0	0	0	0	419,5	419,5
Frutal no identificado	0	237,4	237,4	0	463,2	463,2	0	13,9	13,9	0	834,4	834,4	1,3	0	1,3	1,3	1548,8	1550,1
Granados	7,5	0	7,5	0	0	0	0	0	0	56,2	0	56,2	0	0	0	63,6	0	63,6
Huerto Casero	43,7	0	43,7	109	0	108,6	4,4	0	4,4	88,5	0	88,5	0	0	0	245,1	0	245,1
Nogales	155,3	31	186,4	2	0	2,2	0	0	0	455,2	0	455,2	9,1	0	9,1	621,8	31,1	652,8
Olivos	0	0	0,0	8	0	8,2	0	0	0	3,2	0	3,2	0	0	0	11,4	0	11,4
Paltos	4402,5	983,8	5386,4	2093,0	558,8	2651,9	19,6	6,8	26,4	1954,6	542,0	2496,6	0	0	0	8469,8	2091,4	10561,2
Tunas, papayas, lúcuma y limones	6	0	5,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,5	0	5,5
Vid	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	3,6	0	0	0	3,6	0	3,6
<b>SubTotales</b>	<b>5197,5</b>	<b>1468,5</b>	<b>6666,0</b>	<b>2471,0</b>	<b>1276,1</b>	<b>3747,1</b>	<b>26,5</b>	<b>21,4</b>	<b>48,0</b>	<b>2917,8</b>	<b>1539,6</b>	<b>4457,4</b>	<b>10,4</b>	<b>0,0</b>	<b>10,4</b>	<b>10623,2</b>	<b>4306</b>	<b>14928,9</b>



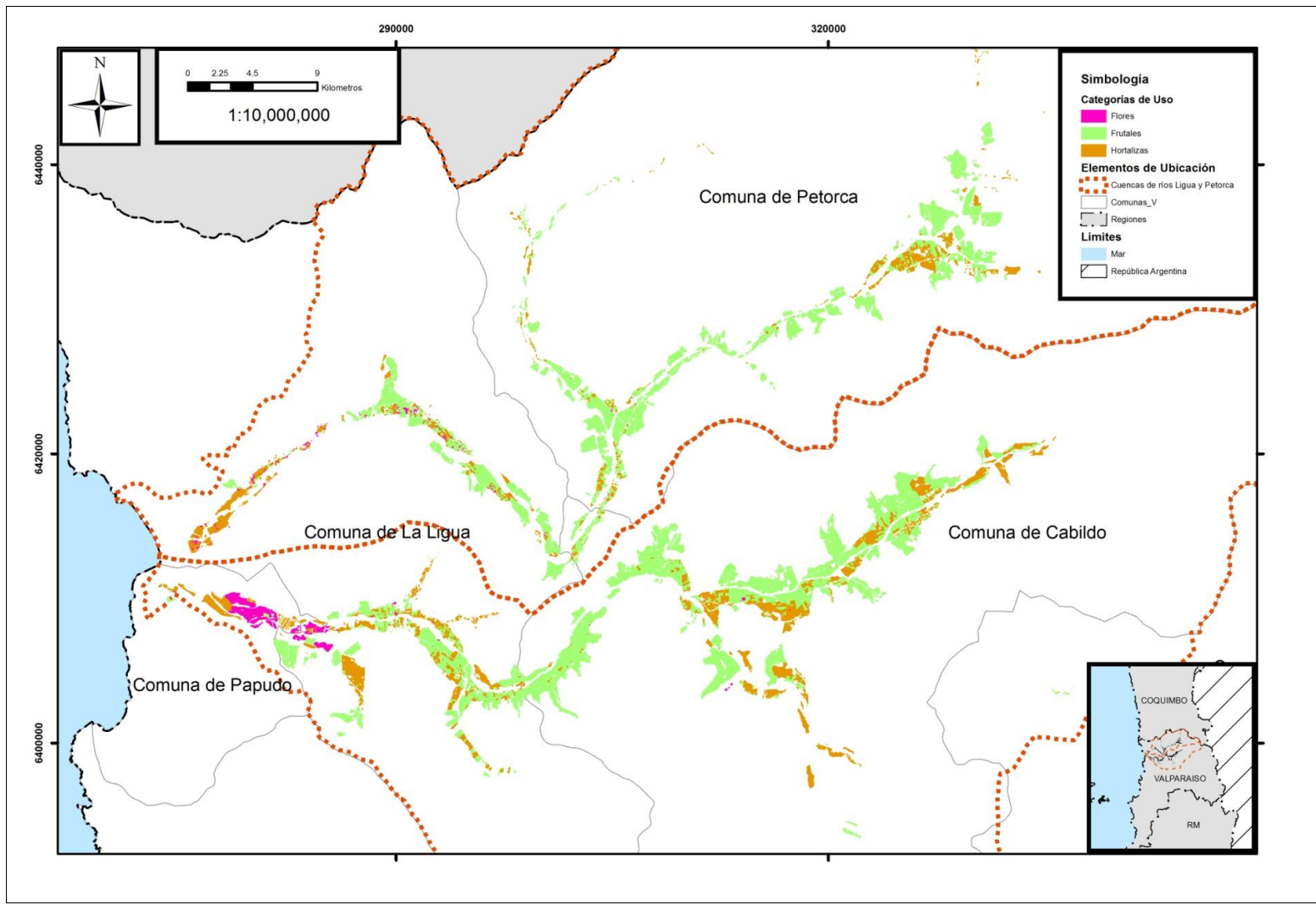


Figura 2.2 Cartografía de la clasificación general del uso agrícola en el área de estudio.

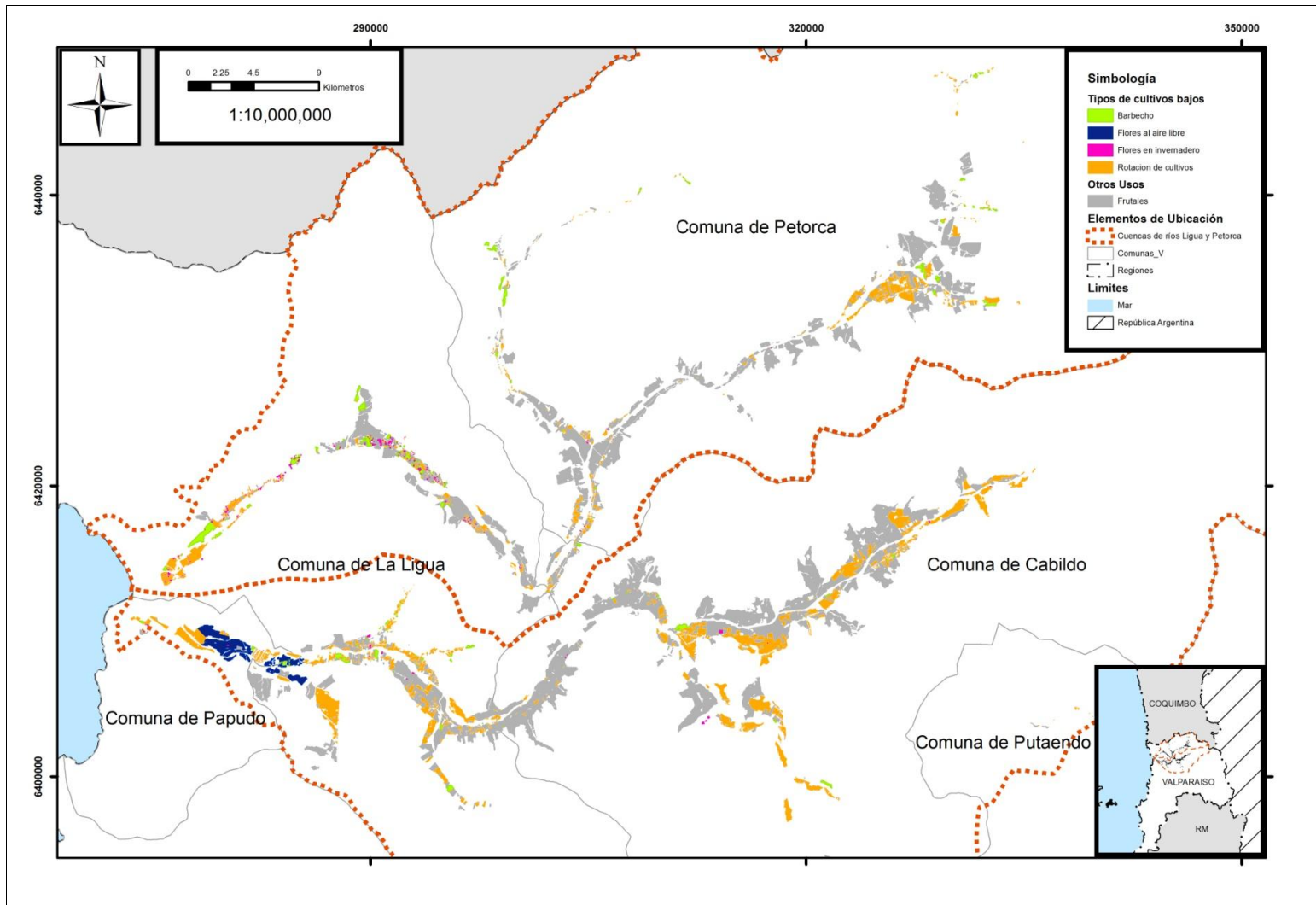


Figura 2.3 Cartografía de clasificación de cultivos bajos en el área de estudio.

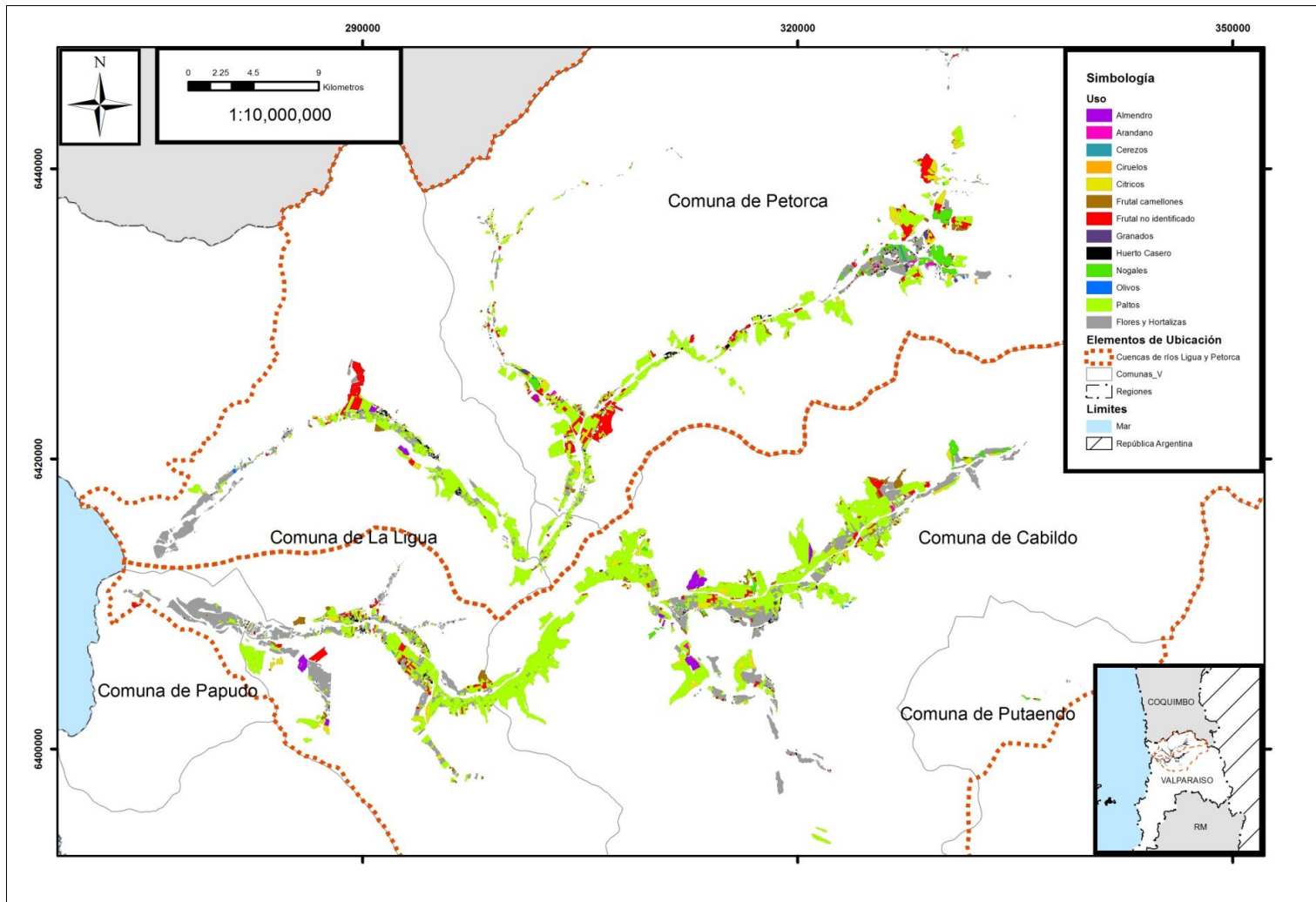


Figura 2.4. Cartografía de clasificación de frutales en el área de estudio.

### ANEXO 3.

#### Actualización de la superficie de uso agrícola en las cuencas La Ligua y Petorca

Tabla 3.1. Balance anual de agua sin factor de uso, en base a derechos de aprovechamiento de agua (DAA), para distintos años meteorológicos en la cuenca del río La Ligua.

La Ligua			Escenario hidrológico				
N°	Signo	Variable	Año Seco Severo	Año Seco Leve	Año Normal	Año Húmedo Leve	Año Húmedo Alto
(1)	-	(Q <sub>s</sub> ) Caudal (km <sup>3</sup> /año)	0,0288	0,0587	0,0178	0,2395	0,1013
(2)	+	(P) Vol. Pp (km <sup>3</sup> /año)	0,3183	0,4484	0,4628	0,5626	0,6915
(3)	-	(D <sub>SUP</sub> ) Vol. DAA Sup (km <sup>3</sup> /año)	0,2162	0,2162	0,2162	0,2162	0,2162
(4)	-	(D <sub>SUB</sub> ) Vol. DAA Subt (km <sup>3</sup> /año)	0,2505	0,2505	0,2505	0,2505	0,2505
(5)	-	ET Cuenca (km <sup>3</sup> /año)	0,3924	0,5108	0,5241	0,6100	0,7134
(6) = (1)+(3)+(4)+(5)	-	Demanda Total (km <sup>3</sup> /año)	0,8879	1,0362	1,0086	1,3162	1,2814
(7) = (2)-(6)		Δ Balance (km <sup>3</sup> /año)	-0,5695	-0,5878	-0,5457	-0,7536	-0,5899

Tabla 3.2. Balance anual de agua con factor de uso, en base a derechos de aprovechamiento de agua (DAA), para distintos años meteorológicos en la cuenca del río La Ligua.

La Ligua			Escenario hidrológico				
N°	Signo	Variable	Año Seco Severo	Año Seco Leve	Año Normal	Año Húmedo Leve	Año Húmedo Alto
(1)	-	(Q <sub>S</sub> ) Caudal (km <sup>3</sup> /año)	0,0288	0,0587	0,0178	0,2395	0,1013
(2)	+	(P) Vol. Pp (km <sup>3</sup> /año)	0,3183	0,4484	0,4628	0,5626	0,6915
(3)	-	(D <sub>SUP</sub> ) Vol. DAA Sup (km <sup>3</sup> /año)	0,0432	0,0432	0,0432	0,0432	0,0432
(4)	-	(D <sub>SUB</sub> ) Vol. DAA Subt (km <sup>3</sup> /año)	0,0501	0,0501	0,0501	0,0501	0,0501
(5)	-	ET Cuenca (km <sup>3</sup> /año)	0,3924	0,5108	0,5241	0,6100	0,7134
(6) = (1)+(3)+(4)+(5)	-	Demanda Total (km <sup>3</sup> /año)	0,5145	0,6628	0,6352	0,9428	0,9080
(7) = (2)-(6)		Δ Balance (km <sup>3</sup> /año)	-0,1961	-0,2144	-0,1724	-0,3803	-0,2166

Tabla 3.3. Balance anual bruto de agua, en base a derechos de aprovechamiento de agua (DAA), para distintos años meteorológicos en la cuenca del río Petorca.

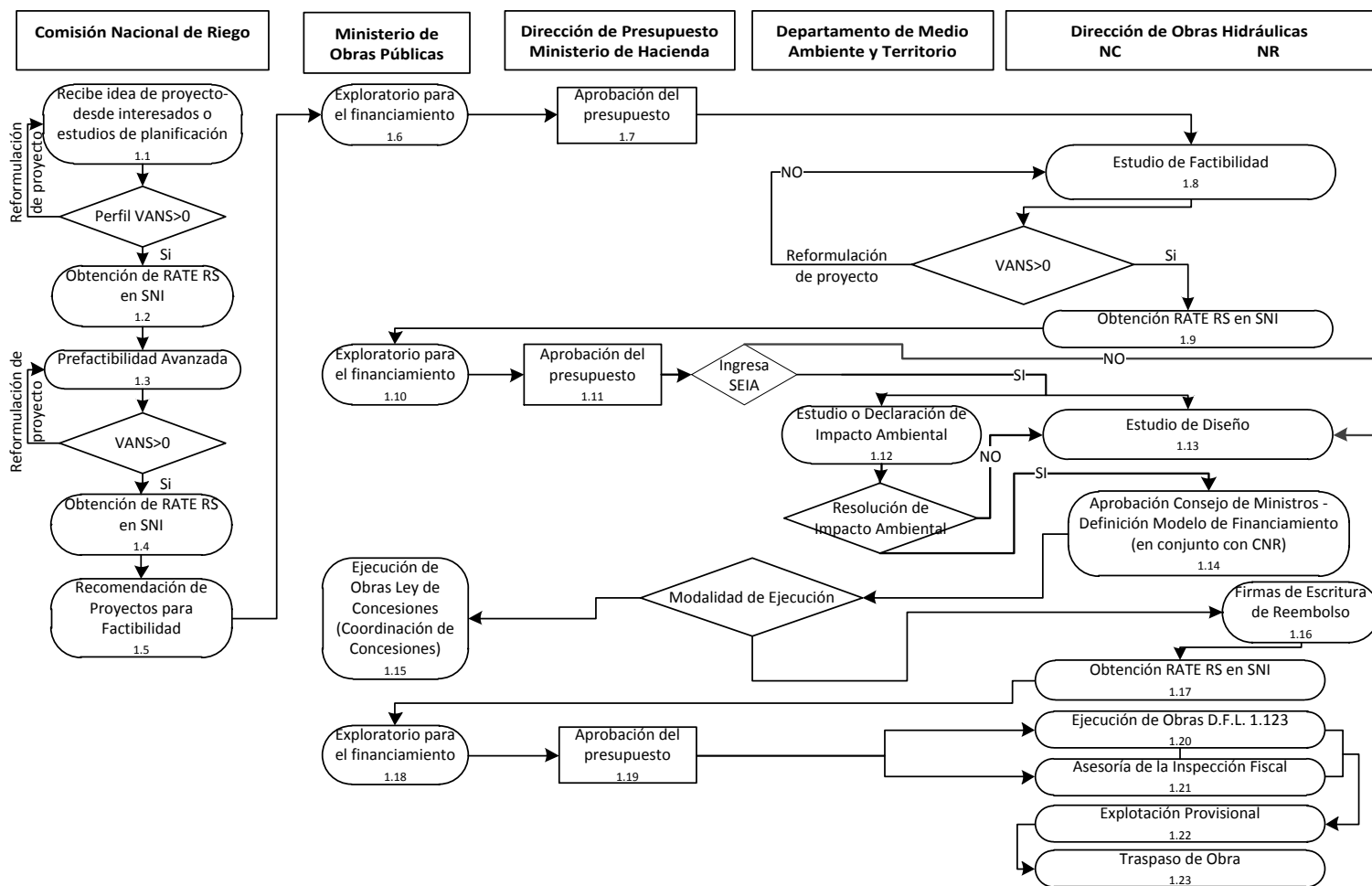
Petorca			Escenario hidrológico				
N°	Signo	Variable	Año Seco Severo	Año Seco Leve	Año Normal	Año Húmedo Leve	Año Húmedo Alto
(1)	-	(Q <sub>S</sub> ) Caudal (km <sup>3</sup> /año)	0,0362	0,0255	0,0136	0,1161	0,0942
(2)	+	(P) Vol. Pp (km <sup>3</sup> /año)	0,2234	0,3379	0,3599	0,4461	0,4998
(3)	-	(D <sub>SUP</sub> ) Vol. DAA Sup (km <sup>3</sup> /año)	0,1471	0,1471	0,1471	0,1471	0,1471
(4)	-	(D <sub>SUB</sub> ) Vol. DAA Subt (km <sup>3</sup> /año)	0,1717	0,1717	0,1717	0,1717	0,1717
(5)	-	ET Cuenca (km <sup>3</sup> /año)	0,2745	0,3858	0,4066	0,4871	0,5353
(6) = (1)+(3)+(4)+(5)	-	Demanda Total (km <sup>3</sup> /año)	0,6294	0,7301	0,7390	0,9219	0,9482
(7) = (2)-(6)		Δ Balance (km <sup>3</sup> /año)	-0,4060	-0,3922	-0,3790	-0,4758	-0,4484

Tabla 3.4 Balance anual de agua con factor de uso, en base a derechos de aprovechamiento de agua (DAA), para distintos años meteorológicos en la cuenca del río Petorca.

Petorca			Escenario hidrológico				
Nº	Signo	Variable	Año Seco Severo	Año Seco Leve	Año Normal	Año Húmedo Leve	Año Húmedo Alto
(1)	-	(Q <sub>S</sub> ) Caudal (km <sup>3</sup> /año)	0,0362	0,0255	0,0136	0,1161	0,0942
(2)	+	(P) Vol. Pp (km <sup>3</sup> /año)	0,2234	0,3379	0,3599	0,4461	0,4998
(3)	-	(D <sub>SUP</sub> ) Vol. DAA Sup (km <sup>3</sup> /año)	0,0294	0,0294	0,0294	0,0294	0,0294
(4)	-	(D <sub>SUB</sub> ) Vol. DAA Subt (km <sup>3</sup> /año)	0,0343	0,0343	0,0343	0,0343	0,0343
(5)	-	ET Cuenca (km <sup>3</sup> /año)	0,2745	0,3858	0,4066	0,4871	0,5353
(6) = (1)+(3)+(4)+(5)	-	Demanda Total (km <sup>3</sup> /año)	0,3744	0,4751	0,4840	0,6669	0,6932
(7) = (2)-(6)		Δ Balance (km <sup>3</sup> /año)	-0,1510	-0,1372	-0,1240	-0,2208	-0,1935

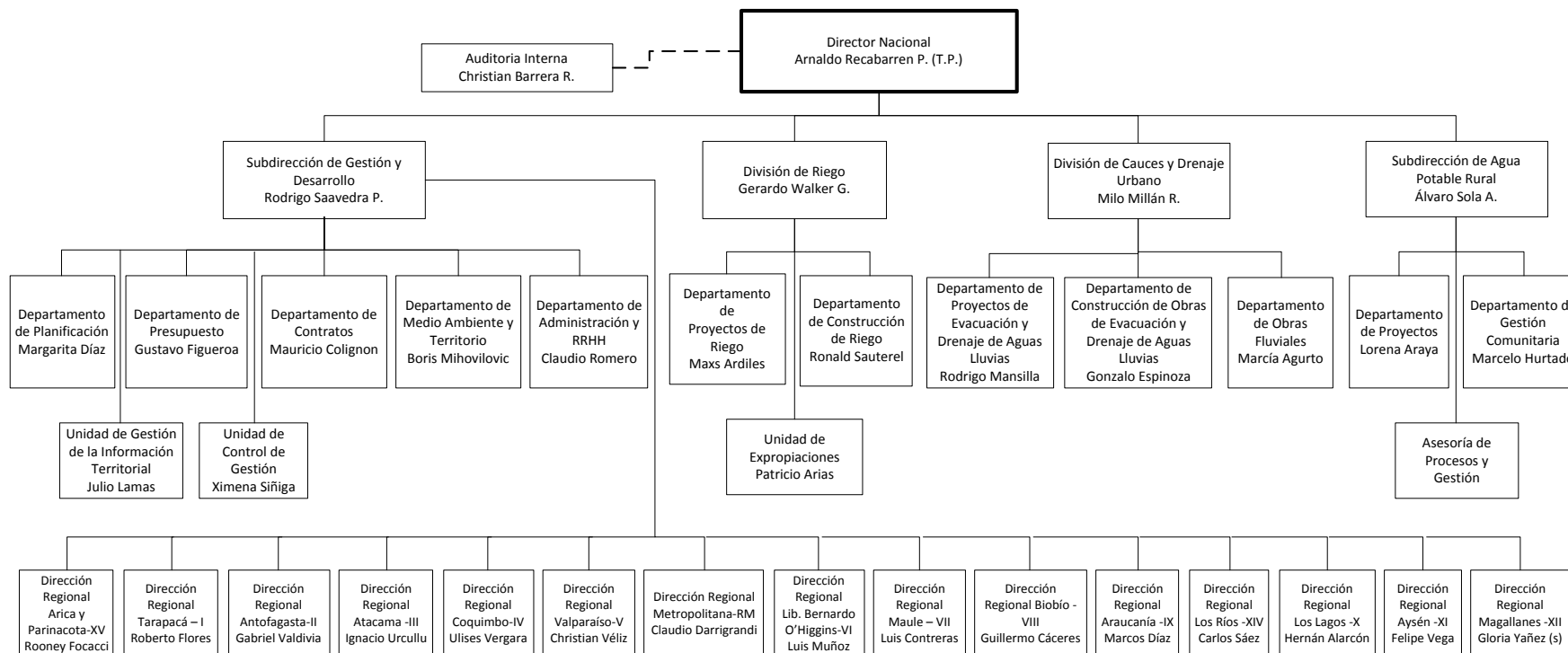
## ANEXO 4.

### Flujograma de Procesos Infraestructura de Obras de Riego.





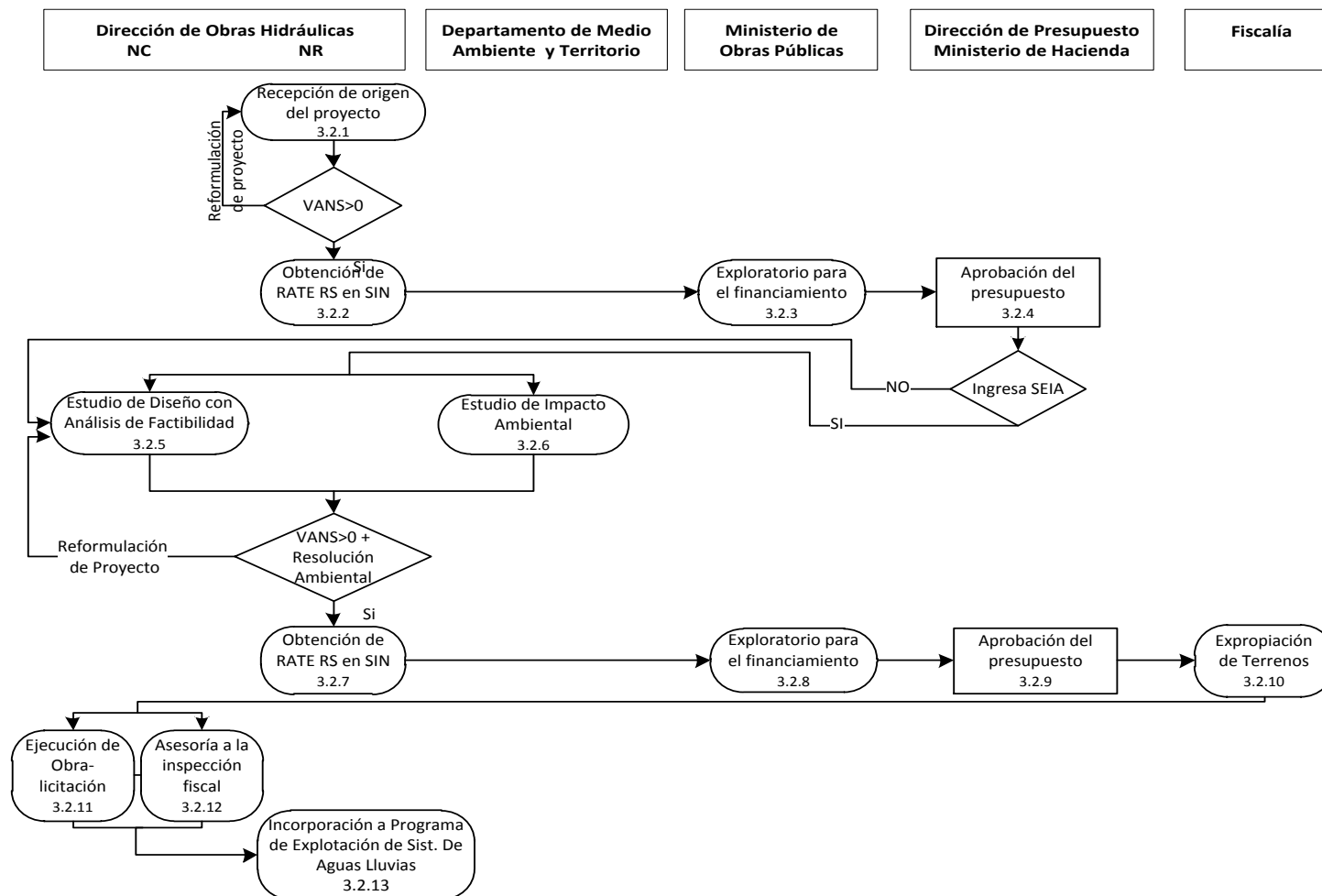
## ANEXO 5. Organigrama de la DOH.



FECHA  
15/05/2013

## ANEXO 6.

### Flujograma de Procesos Infraestructura de Obras de Red Primaria de Aguas Lluvias



## ANEXO 7.

### Indicadores Propuestos Experiencia Priorización PROMOSIR.

Indicador	Escala / Medio de Verificación
Aspectos Financieros	<p><b>Interés de los usuarios</b></p> <p>Con financiamiento previo del 100% parte no subsidiada            Con financiamiento previo 50% parte no subsidiada            Con documento de compromiso            Con carta de interés suscrita por al menos 70% de las acciones            Con carta de interés suscrita por al menos el 50% de las acciones            Con carta de interés suscrita por al menos el 33% de las acciones</p>
	<p><b>Garantía sobre los derechos de agua</b></p> <p>Con Boleta, Póliza o Vale Vista, por un monto del 20% del aporte            Con Boleta, Póliza o Vale Vista, por un monto del 40% del aporte            Con Boleta, Póliza o Vale Vista, por un monto del 60% del aporte            Con Boleta, Póliza o Vale Vista, por un monto del 80% del aporte            Con Boleta, Póliza o Vale Vista, por un monto del 100% del aporte</p>
	<p><b>Aporte privado realizado en obras extra-prediales de la zona de riego del proyecto. (*)</b></p> <p>Solicita un 100% de aporte            Solicita un 85% de aporte            Solicita un 75% de aporte            Solicita un 60% de aporte            Solicita un 40% de aporte            Solicita un 20% de aporte            Solicita un 5% de aporte</p>
<p><b>IVAN Social. (*)</b></p> <p>Mayor a 40%            Mayor a 20%, hasta 40%            Mayor a 15%, hasta 20%            Hasta 15%</p>	

	Indicador	Escala / Medio de Verificación
	Inversión por hectárea	Menor a: UF 20/ha en Regs. I a V, 4 UF/ha de RM a IX y 2 UF/ha en X a XII Menor a: UF 40/ha en Regs. I a V, 8 UF/ha de RM a IX y 4 UF/ha en X a XII Menor a: UF 80/ha en Regs. I a V, 16 UF/ha de RM a IX y 8 UF/ha en X a XII Mayor a: UF 80/ha en Regs. I a V, 16 UF/ha de RM a IX y 8 UF/ha en X a XII
Aspectos Sociales	Cantidad de beneficiarios directos	Más de 500 predios o familias beneficiadas Más de 300 predios o familias beneficiadas Más de 100 predios o familias beneficiadas Menos de 100 predios o familias beneficiadas
	Porcentaje de predios exentos	De 0% a 5% De 5% a 10% De 10% a 20% De 20% a 30% Más de 30%
	Número de beneficiarios / número de habitantes en la comuna.	Sin información
	Índice de Desarrollo Humano	Sin información

	Indicador	Escala / Medio de Verificación
	% de beneficiarios INDAP	Sin información
	Superficie beneficiarios INDAP	Sin información
Aspectos Ambientales	Impactos ambientales durante la construcción del proyecto	El proyecto presenta impactos ambientales significativos El proyecto presenta impactos ambientales menores El proyecto no presenta impactos ambientales
	Impactos ambientales durante la operación del proyecto	El proyecto presenta impactos ambientales significativos El proyecto presenta impactos ambientales menores El proyecto no presenta impactos ambientales

	Indicador	Escala / Medio de Verificación
	Valoración de los aportes al drenaje de aguas lluvias que realiza el proyecto	Sin información
Aspectos Administrativos y Legales	Existencia de expropiaciones	El proyecto presenta expropiaciones complejas El proyecto contempla expropiaciones sencillas El proyecto no requiere de expropiaciones
	Cumplimiento compromisos DICOM	Sin información
	Morosidad sobre el pago de cuotas al interior de la organización	De 0 A 2% de morosidad dentro de la Organización Más de 2% a 5% de morosidad Más de 5% a 10% de morosidad Más de 10% a 20% de morosidad Más de 20% a 50% de morosidad Más de 50% de morosidad
	Cumplimiento últimos dos años informe a DGA	Sí, 100% Sí, parcialmente No

	Indicador	Escala / Medio de Verificación
	Traspaso de la propiedad de las obras	Sin información
Aspectos Técnicos	Innovación tecnológica del proyecto	Proyecto incluye innovación tecnológica en medida considerable Proyecto incluye innovación tecnológica en menor medida Proyecto no incluye innovación tecnológica
	Complejidad técnica del proyecto y consideraciones sobre del mismo	Sin información

Fuente: Elaboración propia en base a documento.

## **ANEXO 8.**

### **Experiencia internacional en Materia de Planificación Hidrológica**

#### **1. El caso de Australia**

Para comprender el sistema Australiano de planeación hídrica es necesario entender que Australia es un país federal, donde el derecho fue originariamente inglés, ribereño con derecho a un uso razonable y el agua pública (*Young v Bankier Distillery Co* [1893] AC 691). Y luego se exige una licencia que otorgan los estados particulares, sobre cuencas comunes, en forma individual (McKay, 2008) Cada estado tiene su propio arreglo institucional (Oecd, 2011).

Esto resulta en que los desafíos más relevantes de la gobernanza del agua sean la asignación del recurso, y la incongruencia entre jurisdicciones políticas y unidades hidrológicas (Oecd, 2011).

En 1992 se dicta una estrategia nacional para desarrollo ecológicamente sostenible (Australian National Strategy for Ecologically Sustainable Development 1992) cuyos objetivos incluyen: mejoras en el bienestar vía un proceso económico que salvaguarde las generaciones futuras; provisión de equidad dentro y entre generaciones; protección de diversidad biológica, mantención de procesos ecológicos esenciales y sistemas de soporte de vida; sistemas decisorios que integren consideraciones de corto y largo plazo referentes a ambiente, equidad social, y economía; aplicación del principio precautorio; el reconocimiento de que una economía fuerte, diversificada, y creciente mejora la capacidad de protección ambiental; el reconocimiento de que el mantenimiento y mejora de la competitividad internacional debe tener lugar de manera ambientalmente sana; la necesidad de contar con instrumentos económicos que sean costo efectivo y flexibles; la necesidad de mejoras en sistemas de precios, valoración, y mecanismos de incentivos; y la necesidad de participación pública.

Desde 1994 comienzan procesos paralelos, por un lado de mayor implicación del gobierno central, y por otro de fortalecimiento de derechos privados, incluyendo su transferencia en términos nominales, como una medida por un lado de eficientizar el uso, y por otro de paliar los efectos de la crisis climática mediante transferencias (McKenzie, 2009). El Consejo de Gobiernos Australianos promueve reformas a través de Desarrollo Ambientalmente Sostenible,



reformas en leyes de competencia, y la creación de mercados de agua en cada estado (McKay, 2008).

Consecuentemente, se implementan reformas competitivas en la asignación de aguas, para mejorar eficiencia. Estas incluyen , además de los mercados de agua, tarifas urbanas y rurales, recupero total de costos, identificación y financiamiento separados de obligaciones derivadas de servicios comunitarios, asignación de agua al ambiente, integración amplia de valores sociales, principio de subsidiariedad.

La iniciativa nacional de aguas (National Water Initiative 2004) incluye una reforma comprensiva vía acciones a tomar por los gobiernos que incluyen: derechos de agua, y planificación; precio del agua conforme a mejores practicas; manejo integrado del agua del agua para el ambiente y otros objetivos de interés publico; sistema de contabilidad de aguas; reformas en aguas urbanas; desarrollo de conocimiento y capacidades; y asociación comunitaria y ajuste. El proceso seria implementado por Comision Nacional de Aguas, con una inversión de dos billones de dólares, en seis años.

El manejo por cada estado en forma individual en cuencas compartidas crea problemas de sustentabilidad del recurso común. Y si bien la Constitución prohíbe la interferencia del gobierno central con el uso razonable del agua de los ríos, se da un proceso de intervención del estado central por distintos mecanismos (Pepper, 2011).

La necesidad de coordinar pasa por una serie de institucionalidades, como por ejemplo la creación del Grupo de Agua, en lo que hace a políticas para el recurso, que gestiona un grupo de funcionarios de alto nivel como parte de esfuerzos desarrollados a partir del Consejo de Gobiernos Australianos (COAG) (Council of Australian Governments , 2007).

## **1.2. Autoridad de Cuenca del Murray Darling**

En la búsqueda de alternativas sustentables para el manejo del agua, la Ley de Aguas de 2007 (con reformas en 2008) creo una **Autoridad de Cuenca del Murray Darling**, (MDBA) para manejar el agua en interés nacional. Como su nombre lo indica en forma clara la Autoridad tiene como base hidrológica la cuenca del Murray Darling (McKay, 2008) La Autoridad tiene las

funciones y poderes, incluidos poderes de ejecución forzada, necesarios para asegurar que los recursos de la Cuenca sean manejados en forma integrada y sustentable. La Autoridad supervisa la planificación, considerando la cuenca como un todo, mas que como una fragmentación estado por estado.(Australian Government, Key Features Australian Water Act, 2007) La MDBA es apoyada por la **Comisión Ministerial**, (MDBMC) y el **Comité de Oficiales de la Cuenca**, (BOC), en los cuales están representados todos los estados miembros.

Los objetivos de la ley de aguas de 2007 son amplios. Conforme su sección 5, se funda en el interés nacional y los acuerdos internacionales, para promover el uso y manejo de los recursos hídricos de la cuenca optimizando resultados económicos, sociales y ambientales. La legislación de aguas sigue siendo materia estatal, pero se dan protocolos sobre el contenido de los planes estatales, que deben tener ciertos contenidos, y ser aceptados por el Commonwealth (secciones 19, 20, 22 ,55, 56, 57).

La MDBA tiene a su cargo funciones de estrategia, establecimiento de prioridades, y planificación, tareas que comparte con el Ministerio (Department) de Ambiente, Agua, Patrimonio (Heritage) y Artes, (**Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts (DEWHA)**) Ambos son responsables por desarrollar e implementar las políticas.

La MDBA tiene que crear un Plan para la Cuenca, y esta prohibido llevar a cabo actos inconsistentes con el Plan, sea por la Autoridad misma, las autoridades operativas, un operador de infraestructura o el beneficiario de un derecho de aguas (sect. 37 Water Act). Esto da valor jurídico al Plan. Los antecedente australianos en lo que hacen a planes, información o falta de la misma, y cumplimiento de preceptiva para el reconocimientos de usos y derechos (plazos para pedir derechos) , son estrictos, sino se cumplen los derechos se pierden (Australian cases).

En términos generales las funciones claves de la MDBA incluyen:

a) la preparación de un Plan de Cuencas para consideración por el Ministro, el que debe incluir limites sustentables para la extracción de aguas, tanto superficiales como subterráneas, de los sistemas hidrológicos de la Cuenca; b) asesorar al Ministro sobre la adecuación de los planes estatales; c) desarrollar un sistema de información sobre derechos de agua, para facilitar el

comercio de derechos en la Cuenca; d) mide y monitorea los recursos de agua en la Cuenca; e) colecciona información y lleva a cabo investigaciones; f) convoca a la comunidad para el manejo de los recursos de la Cuenca; g) provee asesoramiento independiente al Ministro del Commonwealth para Agua y Medio Ambiente.

El Plan de la MDBA se complementa con un planes estatales, los que deben ser congruentes con el Plan, e incluye aguas superficiales y subterráneas; límites de extracciones sustentables; riesgos para los recursos de la cuenca, como cambio climático, y estrategias para su manejo; plan para facilitar agua con propósitos ambientales; planes sobre salinización y calidad de aguas, y reglas para el comercio de derechos.

### **1.3. El Plan**

El Plan para la cuenca debe tomar en cuenta los principios del desarrollo ecológicamente sostenible, actuar sobre las bases del mejor conocimiento científico y análisis socioeconómico disponible y tomar en consideración: Iniciativa Nacional de Aguas; usos económicos del agua de la cuenca; usos consuntivos; diversidad y variabilidad de los recursos hídricos y la necesidad de adaptar su manejo a estas características; l objetivos de manejo vinculados a recursos específicos; cuestiones sociales, culturales, indígenas y otros beneficios públicos; otros procesos de planificación regional vinculados al manejo de recursos naturales; impactos del plan sobre aguas fuera de la cuenca; efectos del manejo de recursos fuera de la cuenca sobre aguas de la misma; y los acuerdos para distribución de aguas entre estados.

### **1.4. Commonwealth Environmental Water Holder**

Se crea además la figura de un tenedor o fiduciario de derechos de agua ambientales de la Mancomunidad (**Commonwealth Environmental Water Holder**) para que maneje el agua ambiental de la Mancomunidad con el fin de proteger y restaurar los activos de agua de la Cuenca del Murray-Darling y fuera de la misma donde la Mancomunidad posea agua.

## **1.5. Australian Competition and Consumer Commission**

La Comisión Australiana para la Competencia y los Consumidores (**Australian Competition and Consumer Commission** , ACCC) tiene un papel fundamental en el desarrollo y aplicación de cargas financieras por el agua y de reglas para comerciar derechos de agua conforme se acordó en la Iniciativa Nacional del Agua, (**National Water Initiative**). El propósito es contar con mercados de agua que operen libremente a través de las fronteras de los estados, y evitar impactos perversos de los cargos financieros vinculados al agua. La ACCC asesora a la Mancomunidad sobre reglas de mercado y cargos financieros aplicables en la cuenca de la MDBA, y es responsable por su aplicación. Las reglas deben asegurar competencia y eficiencia. Los cargos por agua en bloque los determina ACCC. Esta debe efectuar consultas a fines de preparar las reglas, con estados, interesados, y el público en general.

## **1.6. Comisión Nacional de Aguas**

La **Comisión Nacional de Aguas**, tiene por cometido que los gobiernos tomen decisiones informadas en los temas nacionales del agua, y manejo mejorado de los recursos hídricos australianos, a través de abogacía, facilitación, y asesoramiento independiente.

## **2. El caso Alemania**

Todas las cuencas deben estar sujetas a un plan de manejo, con las características de los recursos, las presiones que sufren, los impactos en el estado del agua, áreas protegidas que dependen de las aguas, redes de control, resultado de los controles, objetivos de manejo, análisis económico de los usos del agua, sumario de medidas, consultas e información pública, concordancia con planes regionales, autoridades públicas involucradas, puntos de contacto, y otras medidas. Los planes se pueden complementar con planes para regiones, áreas y sectores especiales (art. 36. Promulgación of the Amended Version of the Federal Water Act of 19 August 2002).

### **3. El caso de Brasil**

Las comisiones de cuenca de Brasil aprueban los planes de cuenca, que generalmente contienen directivas para el emisión de derechos de agua y sus cambios. Pero no pueden cobrar en forma directa a los usuarios, ni a emitir derechos de agua.

Los derechos de agua son emitidos por los gobiernos. Para los ríos bajo jurisdicción nacional la Agencia Nacional de Aguas tiene la responsabilidad. Es una agencia autónoma (Kelman, 2013).

### **4. El caso de España**

#### **4.1. Principios Rectores**

Los principios rectores de la gestión en materia de aguas incluyen: a) Unidad de gestión, tratamiento integral, economía del agua, desconcentración, descentralización, coordinación, eficacia y participación de los usuarios, b) Respeto a la unidad de la cuenca hidrográfica, de los sistemas hidráulicos y del ciclo hidrológico, c) compatibilidad de la gestión pública del agua con la ordenación del territorio, la conservación y protección del medio ambiente y la restauración de la naturaleza.

#### **4.2. Organización**

Se establece un Consejo Nacional de Aguas, con propósitos de integración y conciliación de planes y programas.

La Secretaría de Estado de Medio Ambiente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente es la directamente responsable de la definición, propuesta y ejecución de las políticas del ministerio referentes a la definición de los objetivos y programas derivados de la directiva marco del agua y la gestión del dominio público hidráulico.

La Dirección General del Agua, es responsable de:

(1) la elaboración del Plan Hidrológico Nacional, de la normatividad sobre los Planes de Cuenca y de su coordinación con los planes sectoriales;

- (2) el sistema de información de los recursos hídricos;
- (3) la coordinación de los planes de emergencia;
- (4) la inspección y el control de seguridad de las infraestructuras hidráulicas;
- (5) el establecimiento de los criterios para la conservación de los acuíferos;
- (6) el impulso y fomento de las actividades de depuración y reutilización de las agua depuradas y, en general, de todas las medidas destinadas a favorecer el ahorro del agua.

Los organismos de gestión fundamentales son los de cuenca, nominados Confederaciones Hidrográficas. Dependen administrativamente del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Son autónomos y ponen fin a la vía administrativa.

Estos organismos, creados desde 1926, tenían inicialmente como papel principal la construcción de infraestructura hidráulica. En las últimas décadas su papel ha cambiado hasta la protección y el uso sostenible del agua, una tendencia que se ha reforzado con la implementación de la directiva marco del agua de 2000 de la EU en España. Los organismos de cuenca tienen varios órganos consultivos para aumentar la participación de los usuarios en la toma de decisiones. La gran mayoría de los organismos de cuenca son Confederaciones Hidrográficas, en cuencas que incluyen varias comunidades autónomas, que están bajo la tutela del Ministerio. Las Confederaciones Hidrográficas son parte de la administración del Estado y al mismo tiempo son herramientas para la toma de decisiones participativas al nivel local y de la cuenca

Sus funciones incluyen: a) La elaboración del plan hidrológico de cuenca, así como su seguimiento y revisión, b) La administración y control del dominio público hidráulico, c) La administración y control de los aprovechamientos de interés general o que afecten a más de una Comunidad Autónoma, d) El proyecto, la construcción y explotación de las obras realizadas con cargo a los fondos propios del organismo, y las que les sean encomendadas por el Estado, e) Las que se deriven de convenios.

Sus atribuciones específica son

- a) El otorgamiento de autorizaciones y concesiones,
- b) La inspección y vigilancia del cumplimiento de las condiciones de concesiones y autorizaciones relativas al dominio público hidráulico,
- c) La realización de aforos, estudios de hidrología, información sobre crecidas y control de la calidad de las aguas,
- d) El estudio, proyecto, ejecución, conservación, explotación y mejora de las obras incluidas en sus propios planes, así como de aquellas otras que pudieran encomendárseles,
- e) La definición de objetivos y programas de calidad de acuerdo con la planificación hidrológica,
- f) La realización, en el ámbito de sus competencias, de planes, programas y acciones que tengan como objetivo una adecuada gestión de las demandas, a fin de promover el ahorro y la eficiencia económica y ambiental de los diferentes usos del agua mediante el aprovechamiento global e integrado de las aguas superficiales y subterráneas, de acuerdo, en su caso, con las previsiones de la correspondiente planificación sectorial;
- g) La prestación de toda clase de servicios técnicos relacionados con el cumplimiento de sus fines específicos, cuando les fuera solicitado, el asesoramiento a la Administración General del Estado, Comunidades Autónomas, Corporaciones Locales y demás entidades públicas o privadas, así como a los particulares.

Tienen a su cargo la autorización de transferencias de derechos de agua.

Es de especial importancia la previsión de que en la determinación de la estructura de los organismos de cuenca se tendrá en cuenta el criterio de separación entre las funciones de administración del dominio público hidráulico y las demás.

Nítidamente, las Confederaciones Hidrográficas son el foco de la gestión del agua en España.

### **4.3. Planificación Hidrológica (Art. 40 TRLA, 2001)**

La planificación hidrológica tiene por objetivos generales conseguir el buen estado ecológico del dominio público hidráulico y la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente y los demás recursos naturales.

La planificación se realiza mediante los planes hidrológicos de cuenca y el Plan Hidrológico Nacional. El ámbito territorial de cada plan hidrológico se determina reglamentariamente.

Los planes hidrológicos son públicos y vinculantes, sin perjuicio de su actualización periódica y revisión justificada, y no crean por sí solos derechos en favor de particulares o entidades,

Se elaboran en coordinación con las diferentes planificaciones sectoriales

que les afecten, tanto respecto a los usos del agua como a los del suelo, y especialmente con lo establecido en la planificación de regadíos y otros usos agrarios.

El Gobierno aprueba los planes hidrológicos de cuenca en los términos que estime procedentes en función del interés general.

## **5. El caso de Francia**

Las prácticas francesas de seguimiento de políticas y planes se encuadran en el contexto de la Unión Europea y sus principios. En lo que hace a la Unión Europea la Directiva Marco del Agua 2000/60/CE requiere planes de gestión y programas de medidas por demarcación hidrográfica.

La política francesa se basa en los siguientes principios:

a) manejo descentralizado por cuencas conforme los principios de manejo integrado. Se toman en cuenta todos los usos del agua, las necesidades de los ecosistemas, la prevención de contaminación, y el control de riesgos naturales y accidentes,



b) organización de diálogos y coordinación de acciones, tareas que son llevadas a cabo por el Comité de Cuenca y el Prefecto-Coordinador,

c) cobros según consumo de aguas y contaminación en base a los principios de contaminador pagador, usuario pagador, y el agua paga por el agua. Los pagos se efectúan a las agencias de cuenca, que usan los fondos para estudios y acciones para mejorar los recursos hídricos y el ambiente acuático,

d) programas plurianuales de planificación y programación, con objetivos y prioridades para la cuenca (Department of The Commissioner General for Sustainable Development, 2012).

Estos principios se implementan a través de mecanismos participativos, de financiación, de planificación y por la administración central del estado, a la cual le corresponde la entrega y control del uso del agua.

### **5.1. Comités de Cuencas**

Los Comités de Cuenca son responsables por el manejo de las cuencas hídricas, nacionales, y están presididos por un cargo electivo local, con representantes de autoridades locales (40%) nacionales (20%) y los usuarios y sus asociaciones (40%). Participan en el diseño de políticas y responden por la orientación de las prioridades de la cuenca a la que pertenecen. También preparan el Plan para la Cuenca, de aplicación compulsiva en lo que hace a políticas públicas y decisiones administrativas. Aprueban los pagos a la Agencia de Cuenca y preparan el Programa de Medidas para implementar el Plan, junto con el Gobierno. El Programa de Medidas incluye Medios (Financieros y Regulatorios) y Acciones (varias según se requiera, por ejemplo monitoreo, educación, etc.).

### **5.2. Agencias de Cuenca**

Las Agencias de Cuenca son personas públicas, responsables por la implementación de la Política Hídrica, supervisadas por el Ministro a cargo de Ecología. Son autónomas, se financian con pagos de los usuarios. Trabajan con aspectos cuantitativos y cualitativos del agua, tanto superficial como subterránea. Sus palancas de acción son los cargos por extracciones y

contaminación de aguas, subsidios, y la facilitación de gobernanza en la cuenca. Esto último tiene lugar a través de la preparación y diseminación de información, organización de las reuniones de los cuerpos colegiados y participativos, preparación de planes, y otras actividades.

El sistema se complementa con Comisiones de Agua Locales.

### **5.3. Niveles de Planificación Concertada (Oficina Internacional del Agua, 2009)**

#### A nivel nacional

El Comité Nacional del Agua, presidido por un parlamentario nombrado por el Primer Ministro, reúne a representantes de usuarios, asociaciones, autoridades locales y del Estado, así como a las personas competentes y los Presidentes de los Comités de Cuenca.

Se consulta sobre las orientaciones de la política nacional del agua. Da una opinión sobre los proyectos de textos jurídicos (leyes, decretos), los proyectos de reformas y los proyectos de planes de acción gubernamentales.

#### A nivel de cada una de las grandes cuencas hidrográficas

El Comité de Cuenca orienta las prioridades de la política del agua en la cuenca. Elabora el Plan Maestro de Aprovechamiento y Gestión de Aguas (SDAGE), que es aprobado por el Estado.

El SDAGE es un documento de planificación: fija las orientaciones generales de la gestión del agua en la cuenca y los objetivos que deben lograrse. El SDAGE es también un marco jurídico para las políticas públicas: toda decisión administrativa relacionada con la gestión del agua (reglamentación local, programas de ayudas financieras, documentos urbanísticos) debe ser compatible o hacerse compatible con el SDAGE.

En particular, el Comité de Cuenca propone el importe de las tasas recaudadas por la Agencia del Agua y vota el programa de acción plurianual de la Agencia del Agua (prioridades, modalidades de las ayudas) que contribuye a financiar la implementación del SDAGE.

El SDAGE en adelante se acompaña de un Programa de Medidas que define los medios (reglamentarios, financieros) y las actuaciones (policía del agua, obras, comunicación, sensibilización, educación, proyectos piloto, contratos, intercambios de experiencias) que permiten lograr en 2015 los objetivos de buen estado de las aguas. El Estado elabora el Programa de Medidas después opinión del Comité de Cuenca.

#### **5.4. La Administración Central del Estado**

##### **Ministerio de Ecología**

El Ministerio de Ecología establece las políticas, y tiene a su cargo el papel de regulador, y policía del uso y estado de las aguas. Debe garantizar una objetivos comunes, “igualación” y acceso al agua. Es responsable por estrategia, prioridades, y planificación, incluyendo la de infraestructura. Tiene a su cargo la asignación de uso, estándares de calidad y regulación ambiental.

##### **Comités de Participación**

Los representantes del público y de las personas con intereses en el agua participan a través del Comité Nacional de Aguas, el Comité Consultivo, y el Comité de Información.

##### **Agencia Nacional para el Agua y el Medio Ambiente Acuático**

El Ministerio de Ecología se apoya en la Agencia Nacional para el Agua y el Medio Ambiente acuático, que es la organización responsable por el conocimiento y el monitoreo del agua y el ambiente acuático. Además contribuye en el proceso de gestación de políticas y su implementación (ONEMA). La Agencia se organiza con tres niveles: Director General (Nacional), Delegaciones Interregionales, y Servicios Departamentales.

Sus funciones son el desarrollo de conocimientos sobre sistemas acuáticos, orientando los programas de investigación; información sobre los recursos hídricos, el ambiente acuático y sus usos, manejando el Sistema Nacional de Información de Aguas; control de usos de agua, mediante una delegación del poder de policía del Estado, Onema controla que se cumplan las

regulaciones y toma nota de infracciones vía sus equipos departamentales; finalmente, a nivel local, Onema organiza los diagnósticos del estado del agua y el ambiente acuático, participa en la planificación de políticas locales, provee soporte técnico a las actividades de manejo de aguas.

## **Prefecto**

El Prefecto, está a cargo de la policía del agua, según un ordenamiento administrativo, y el sistema de control de cumplimiento de las regulaciones.

Es importante comprender que la representación del Estado se encarna en el Prefecto. Cuando se necesitan una autorización la expide después de investigar impactos potenciales del proyecto y consultas a la población interesada. Las autorizaciones tienen duración definida. Pueden ser retiradas o modificadas en función de riesgos a la salud pública (agua potable) la seguridad (inundaciones) o el medio ambiente acuático.

El Prefecto puede dictar reglas aplicables a territorios específicos, en función de su topología. Por ejemplo puede dictar normas para prevenir contaminación por nitratos, en áreas que alimentan tomas de agua, o en áreas con déficits o contaminación específica.

El Prefecto toma la decisión a nivel local. Una autorización para extracción de agua debe considerar:

- a) si se puede extraer una sola cantidad de agua, o esta está sujeta a variantes en función de fuente y contexto hidrológico;
- b) considerar el agua extraída en función de otros usos;
- c) cumplir con las disposiciones de los planes;
- d) requerir la medida del agua extraída; e) establecer criterios para la construcción y mantenimiento de tomas de agua, f) establecer normas para evitar interconexión de acuíferos al perforar.

Coordinación Inter Servicios

En los casos en que existen diversos servicios involucrados estos se coordinan vía la Misión Inter Servicios para el Agua. Esto permite discusiones conjuntas, acuerdos, y en general decisiones mas rápidas y mejores. Se consideran todas las variables, como por ejemplo salud, ambiente, agravación de riesgos, planificación urbana, etc.

También hay coordinación entre el Prefecto y los distritos de cuencas. El Prefecto en funciones en el área donde el Comité de Cuencas tiene su oficina central coordina la política publica en lo que hace a policía del agua y gestión del recurso. Es el Prefecto Coordinador de la Cuenca.

Esta coordinación facilita la consistencia y coherencia de la acción estatal entre las regiones y los departamentos involucrados, como así también la implementación homogénea de planes y programas de medidas.

El Prefecto tiene recursos para cumplir sus funciones. Puede suspender o limitar usos en función de riesgos, por ejemplo inundaciones, sequías, escasez, generalmente en dialogo con los afectados.

### **Policía del Agua**

Los agentes a cargo de la policía del agua, que incluyen la Agencia Nacional para el Agua y el Ambiente acuático (Onema) controlan el cumplimiento con las regulaciones. Hacen informes oficiales por infracciones. Y determinan sanciones, usualmente administrativas. Pueden establecer obligaciones de completar trabajos y obras, o pueden clausurar instalaciones por faltas. En algunos caso se hacen necesarias sanciones penales, y los informes se remiten al juez competente.

Es claro que en Francia hay una secuencia linear desde el Ministerio de Ecología al Prefecto que cubre todo el país en lo que hace a agua cubriendo desde la definición de estrategia hasta las decisiones en terreno y el control de cumplimiento. Esto se complementa con Onema y sus entidades y oficinas subordinadas y locales.

## **6. El caso de Estados Unidos**

En Estados Unidos el examen de la organización institucional y la legislación relacionada al agua se diferencia del de los otros países. En el sistema federal de este país los estados controlan la gran parte de los procesos de asignación de aguas. Esto significa que hay cincuenta leyes estatales diferentes (correspondientes a cada uno de los 50 estados) que gobiernan las aguas (Getches, 1990).

Todas tienden a caer en dos sistemas básicos de asignación de derechos: primera apropiación y derechos del propietario ribereño. Los estados con la ley de apropiación se encuentran principalmente en el oeste, donde hay menos lluvia. Los estados con leyes del propietario ribereño, están localizados en la porción del país donde el agua es más abundante. Algunos estados han adoptado una mezcla de los dos sistemas (Getches 1998).

Si bien Estados Unidos es un país federal la organización para la gestión del agua en cada uno de ellos, o una muestra representativa de los mismos, es útil para ver como se estructura y cuales son las razones de estas estructuras.

### **6.1. Entidades de gestión de Aguas**

En la actualidad, casi todos los estados tienen una agencia que concede permisos a personas que solicitan el derecho de usar agua. El proceso de manejo tiene lugar en el contexto de una sola entidad de naturaleza pública. La relación del agua con el Estado es de soberanía, es indelegable, e implica tutela pública permanente, aún después de otorgados los derechos.

Por vía de ejemplo, en el caso de Alaska la ley de aguas es administrada, es decir aplicada, por el Departamento de Recursos Naturales, a través de la División de Manejo de Tierras y Aguas. El Comisionado de Recursos Naturales establece la política de aguas, con el asesoramiento de la Junta de Aguas integrada por siete ciudadanos que asesoran al Gobernador en materia de políticas de agua (Beck, 1991).

En Arizona la ley de aguas, la administra el Departamento de Aguas de Arizona, tanto en lo que hace a aguas subterráneas como superficiales (*The Director of ADWR "has general control and*

*supervision of surface water, its appropriation and distribution, and of groundwater to the extent provided by this title, except distribution of water reserved to special officers appointed by courts under existing judgments or decrees.” A.R.S. § 45-103(B).*

En Nuevo México la Oficina del Ingeniero del Estado es responsable por la administración de los recursos hídricos del estado. Tiene poderes de supervisión, medición, apropiación y distribución de todos los recursos de aguas superficiales y subterráneas de Nuevo México incluyendo los cursos de agua que transponen los límites del Estado (Dumars, 1991, <http://www.ose.state.nm.us/index.html>, 2013).

## **6.2. El Caso de California**

El caso de California merece un examen especial, tanto por la complejidad del manejo del agua en el estado, como por las soluciones encontradas.

A partir de 1950 cuenta con un Departamento de Aguas, responsable por construcciones y planificación, y una Junta para regulación y otorga de derechos de agua (Hanak, 2011).

Posteriormente se decide integrar calidad y cantidad de aguas,. La Junta de Control de Aguas (State Water Resources Control Board) fue creada en 1967, protege la calidad del agua, estableciendo políticas al respecto, y además, es la única responsable por la entrega de derechos de aguas. Interactúa con Juntas Regionales, y es apoyada por una Oficina de Ejecución (Office of Enforcement) para la ejecución pronta y justa de la ley y las regulaciones (Swift and Fair) ([www.swrcb.ca.gov/](http://www.swrcb.ca.gov/) 2013). El Departamento de Aguas sigue siendo responsable por el manejo del uso del agua, incluyendo su distribución a través del Proyecto de Aguas del Estado.

### **Departamento de Aguas (Art. 120 y sgtes, California Water Code)**

El Departamento tiene un director, que sirve a placer del gobernador, se propone por este y se nombra con consentimiento del senado californiano. El Departamento Depende de la Agencia de Recursos. Consolida y reemplaza los poderes y recursos de una serie de instituciones fragmentadas que lo precedieron.(Art. 123). Se puede organizar en circunscripciones hidrográficas que responden al Director, y están bajo un jefe (125). Puede organizarse con

Gerentes de Programa, incluidos planificación de aguas, cambio climático, y manejo del recurso (127.5). Puede tomar medidas de emergencia (129). Puede celebrar contratos y gastar dinero presupuestario a efectos de asegurar la aplicación de la ley. A este respecto puede crear una agencia especial para “enforcement” (133, 134). Tiene a su disposición un fondo rotatorio (135). Debe preparar un plan para la satisfacción de los derechos de agua existentes (138.10). Las derivaciones del Sacramento San Joaquín Delta deben ser evaluadas en relación a cambio climático, temblores, fallas y hundimientos de terreno (subsident), inundaciones, cambios en precipitación, temperatura y niveles oceánicos (se menciona esto como un ejemplo de preocupación por un área específica, en una anticipación a los problemas, no una espera que lleguen cuando son imposibles de manejar) las proyecciones son a 100 y 200 años (139.2). Tiene capacidad de construir (141.5).

### **Junta de Control de Aguas (Código de Aguas 174-188.5)**

La Junta se establece para la administración ordenada y eficiente del agua del estado, con funciones de asignación y regulación. Conjuga cantidad y calidad, incluida la consideración de cuestiones de calidad resultantes de la asignación. Son cinco miembros, propuestos por el gobernador, confirmados por el Senado, de diferentes áreas del estado, y con diferentes disciplinas vinculadas al agua. No representan áreas, sino al estado en su conjunto. Tienen incompatibilidades. Duran 4 años. Pueden participar en conferencias y audiencias con personas públicas y privadas, y hacer investigaciones. Tienen quórum con tres miembros, y decisiones con la mayoría de miembros presentes. Todas las entidades vinculadas al agua deben cooperar entre sí.

### **Planeamiento de Aguas (<http://www.waterplan.water.ca.gov/>)**

El Plan es un marco colaborativo de planificación, que permite la participación de todos los interesados, y es operado y desarrollado por el Departamento de Aguas de California con amplia participación de sectores públicos, privados, e interesados.

Su propósito es comprobar hechos y situaciones, y suministrar recomendaciones para decisiones informadas en lo que hace al futuro de las aguas del Estado de California. Se actualiza cada cinco



años. Presenta el estado y las tendencias de los recursos naturales que dependen del agua, de las disponibilidades hídricas, demandas ambientales, agrícolas y urbanas, considerando distintos escenarios. Evalúa distintas estrategias de manejo para reducir la demanda de agua, incrementar la disponibilidad, reducir riesgos de inundaciones, mejorar la calidad del agua, y mejorar la tutela ambiental y de recursos naturales. Ayuda a identificar políticas y acciones efectivas para la realización de los objetivos de manejo del recurso. Es fundamentalmente un plan estratégico.

Las prioridades del 2013 incluyen: estrategias financieras y fuentes de recursos para llevar a cabo un manejo estratégico del recurso; condiciones regionales e integración agua-suelo; control de inundaciones; recursos costeros; aguas subterráneas; mejoras en datos e información, medidas y análisis; tecnología y desarrollo; manejo de sedimentos; extensión y educación; valores culturales asociados al agua; calidad de aguas, desarrollo de indicadores ambientales y su medida y análisis; impacto de cambio climático, adaptación y mitigación; y tendencias en disponibilidades y demandas, en diferentes escenarios.

**ANEXO 9.**  
**Indicadores Propuestos**  
 Criterios y Subcriterios Priorización Obras de Riego Menores

Ámbito	Subcriterio	Indicador	Comentario
Económico	IVAN	VAN Social / Inversión	Rentabilidad por unidad de inversión
	Potenciamiento de otros sectores de la economía.	Definición de escala. Evaluación según juicio experto	Se refiere a la posibilidad de potenciar el sector eléctrico o turismo por ejemplo (externalidades del proyecto).
Social	Compromiso	Como % de la inversión total del proyecto	Aporte privado realizado en obras extra-prediales de la zona de riego del proyecto
		Subsidio solicitado en escala: "Solicita un x% de aporte"	
	Equidad	Índice de desarrollo humano comunal (IDH)	
		Número o Superficie de explotaciones de subsistencia y pequeños empresarios agrícolas (a nivel de comunas beneficiadas). <sup>2</sup>	
	Porcentaje de población rural beneficiaria	=población rural beneficiaria / población total beneficiaria	
	Generación de empleos	Cantidad de empleo directo generado por el proyecto.	Empleo permanente
		Cantidad de empleo directo generado en etapa de construcción	Empleo que podría generarse a partir de la construcción del proyecto, o con ejecución de esta etapa

Ámbito	Subcriterio	Indicador	Comentario
		Cantidad de empleo directo generado en etapa de operación y mantenimiento	esta etapa
		Cantidad de empleo directo generado por aumentos en la productividad agrícola.	Se refiere a las externalidades que permitirán mejorar la actividad agrícola en la zona y que traerán como consecuencia un aumento en el empleo.
	Existencia de expropiaciones	Puntaje: 100 si el proyecto implica expropiaciones y 0 si no.	
		Escala de Expropiaciones: complejas; sencillas, no presenta.	
Ambiental	Impactos durante la construcción		
	Impactos durante la operación		
	Dificultad administrativa en el SEIA (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental).	Escala: Dificultad alta, media y baja.	Representa la dificultad administrativa en el SEIA por demoras en la realización o evolución de las etapas del proyecto o la imposibilidad de concreción, por motivos ambientales y/o grupos que se oponen al proyecto y/o áreas protegidas y/o etnias involucradas.

### Criterios y Subcriterios Priorización Obras de Manejo de Cauces

Ámbito	Subcriterio	Indicador	Comentario
Económico	IVAN	VAN Social / Inversión	Rentabilidad por unidad de inversión
Social	Equidad	Índice de desarrollo humano comunal (IDH)	
		Número o Superficie de explotaciones de subsistencia y pequeños empresarios agrícolas (a nivel de comunas beneficiadas). <sup>1</sup>	
	Porcentaje de población rural beneficiaria	= población rural beneficiaria / población total beneficiaria	
	Generación de empleos	Cantidad de empleo directo generado por el proyecto.	Empleo permanente
		Cantidad de empleo directo generado en etapa de construcción	Empleo que podría generarse a partir de la construcción del proyecto, o con ejecución de esta etapa
		Cantidad de empleo directo generado en etapa de operación y mantenimiento	
Cantidad de empleo directo generado por aumentos en la productividad agrícola.		Se refiere a las externalidades que permitirán mejorar la actividad agrícola en la zona y que traerán como consecuencia un aumento en el empleo.	
Existencia de expropiaciones	Puntaje: 100 si el proyecto implica expropiaciones y 0 si no.		

<sup>1</sup> En base a ODEPA "Clasificación de las Explotaciones agrícolas del VI Censo Nacional Agropecuario Según Tipo de Productor y Localización Geográfica." Para clasificar las explotaciones, según sub-áreas productivas, se desagregaron 18 áreas homogéneas en 76 sub-áreas socio-productivas menores (identificación de patrones socio-productivos dominantes, diferenciables al interior de cada una de las áreas homogéneas originales), se consideró la combinación de las variables: uso del suelo, rendimiento productivo, capital disponible, tecnología dominante, ingresos estimados, entre otras. Se estipularon los tamaños de la superficie en producción, cuyos retornos estimados permitirán diferencial a las explotaciones según su escala de tamaño.

Ámbito	Subcriterio	Indicador	Comentario
		Escala de Expropiaciones: complejas; sencillas, no presenta.	
Ambiental	Impactos durante la construcción	Escala: presenta impactos significativos, menores o no presenta impactos.	
	Impactos durante la operación		
	Dificultad administrativa en el SEIA (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental).	Escala: Dificultad alta, media y baja.	Representa la dificultad administrativa en el SEIA por demoras en la realización o evolución de las etapas del proyecto o la imposibilidad de concreción, por motivos ambientales y/o grupos que se oponen al proyecto y/o áreas protegidas y/o etnias involucradas.

**Criterios y Subcriterios Priorización Obras de Aguas  
Lluvias**

Ámbito	Subcriterio	Indicador	Comentario
Económico	IVAN	VAN Social / Inversión	Rentabilidad por unidad de inversión
Social	Equidad	Índice de desarrollo humano comunal (IDH)	
		Número o Superficie de explotaciones de subsistencia y pequeños empresarios agrícolas (a nivel de comunas beneficiadas). <sup>1</sup>	
	Generación de empleos	Cantidad de empleo directo generado por el proyecto.	Empleo permanente
		Cantidad de empleo directo generado en etapa de construcción	Empleo que podría generarse a partir de la construcción del proyecto, o con ejecución de esta etapa
		Cantidad de empleo directo generado en etapa de operación y mantenimiento	
	Existencia de expropiaciones	Puntaje: 100 si el proyecto implica expropiaciones y 0 si no.	
Escala de Expropiaciones: complejas; sencillas, no presenta.			

<sup>1</sup> En base a ODEPA "Clasificación de las Explotaciones agrícolas del VI Censo Nacional Agropecuario Según Tipo de Productor y Localización Geográfica." Para clasificar las explotaciones, según sub-áreas productivas, se desagregaron 18 áreas homogéneas en 76 sub-áreas socio-productivas menores (identificación de patrones socio-productivos dominantes, diferenciables al interior de cada una de las áreas homogéneas originales), se consideró la combinación de las variables: uso del suelo, rendimiento productivo, capital disponible, tecnología dominante, ingresos estimados, entre otras. Se estipularon los tamaños de la superficie en producción, cuyos retornos estimados permitirán diferencial a las explotaciones según su escala de tamaño.

Ámbito	Subcriterio	Indicador	Comentario
Ambiental	Dificultad administrativa en el SEIA (Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental).	Escala: Dificultad alta, media y baja	Representa la dificultad administrativa en el SEIA por demoras en la realización o evolución de las etapas del proyecto o la imposibilidad de concreción, por motivos ambientales y/o grupos que se oponen al proyecto y/o áreas protegidas.

**ANEXO 10.**

**Contribuciones de expertos internacionales**

---

# Multi-Criteria Decision Analysis In Support of Infrastructure Investment in Chile

---

Submitted by

David Yates

National Center for Atmospheric Research

July 2013



## Contents

<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>162</b>
<b>MCDA OVERVIEW .....</b>	<b>160</b>
PROBLEM FORMULATION.....	160
THE ALTERNATIVES.....	162
THE CRITERION.....	162
METHODS OR MODELS TO CHOOSE THE ALTERNATIVE IN MCDA (PREFERENCE MODELING).....	163
MCDA METHODS IN WATER RESOURCES.....	166
<b>THE FWUD EXAMPLE: MCDA IN ALTERNATIVES IN A WATER SUPPLY PLANNING PROJECTS.....</b>	<b>169</b>
EXPLORING ALTERNATIVES.....	170
IDENTIFYING THE PERFORMANCE CRITERIA.....	171
IMPLEMENTATION IN WEAP AND EXCEL.....	173
LESSONS LEARNED .....	175
<b>APPLICATION TO THE CASE OF THE DOH.....</b>	<b>176</b>
<b>CITED PUBLICATIONS AND OTHER SELECTED REFERENCES .....</b>	<b>178</b>

## **Introduction**

The ability to decide, to choose one thing over another, has inspired philosophical thought throughout the ages. Benjamin Franklin offered advice to Joseph Priestly in 1772, where he describes a process to decide among various alternatives by creating a “Pro-Con” list that includes a kind of equation to weigh the alternatives. “My way is to divide half a sheet of paper by a line into two columns; writing over the one Pro and over the other Con; and when I have then all together in one view, I endeavor to estimate their respective weights...” (<http://www.procon.org/view.background-resource.php?resourceID=1474>; accessed July 2013). It is self-evident that decision is strongly related to comparison of different points of view.

These points-of-view, or criteria, in the language of Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA), stand in stark contrast to the single objective nature of traditional Operations Research, which argues there is a single, optimal solution to the range of possible actions. This is not generally the way people make decisions. Optimization might work for engineered systems- e.g. the minimum cost to build a desk of certain dimension with different kinds of wood with various cost. But when people are involved and there is a plurality of views around possible actions, then optimality is elusive if not impossible. MCDA aligns well with the way humans have always made decisions, and despite the myriad of methods and complex mathematical constructs, the basic ingredients of MCDA are quite simple: a group of group actions or alternatives, a set of criteria that serves to evaluate those actions, and at least one decision maker (DM). With these basic elements, MCDA supports or aids decision making in terms of choosing, ranking, or sorting the possible actions.

## **MCDA Overview**

There are four general concepts that play a fundamental role for analyzing and structuring the decision aiding process, including 1) problem formulation; 2) defining the alternatives or potential actions; 3) selecting the criteria; and 4) choosing the method for selecting the alternative- also known as *preference modeling*. Each is briefly discussed.

## **Problem Formulation**

The process of problem formulation in the decision can be challenging, as some decisions are more difficult to formulate or articulate. When there is a single actor, problem formulation is usually more

straightforward. In our example in the Santiago Workshop in May of 2013, we used the choice around which automobile to purchase (the alternatives), against an array of criteria (cost, color, fuel efficiency, etc.). When several stakeholders with various interests and values are involved, then the decision process can, of course, be more challenging. The actions and criteria themselves need to be defined, which can be the most difficult and contentious part of the decision aiding process. Questions such as: in what terms or context should we pose the problem and seek a solution (e.g. facilitated collaboration)? What type of results should we try and obtain? What procedures should be followed to guide the investigation? In a contentious decision making environment, where multiple interests are being represented with a myriad of possible outcomes, transparency and openness are key. In fact, it is often the case that the process of decision making is as important as the outcome itself. A well-structured problem formulation process thus serves to:

1. Help Identify the “Actors”
2. Help Structure the Decision Process
3. Facilitate Cooperation through Mutual Understanding
4. Elaborate Recommendations
5. Help to Legitimize Final Decision

MCDA is a structured decision making process, with problems in a variety of areas, such as economics, production and project planning, the statistics and management sciences, engineering design, and of course in several areas of the field of environmental analysis. MCDA methodologies have been developed around a variety of theoretical frameworks like outranking, optimization, goal aspiration, and the combining of different methods.

The MCDA problem is typically cast in the form a matrix. Where the alternatives are denoted by the set,  $A$ ; and a family of criteria,  $g$ . The values within the resulting matrix are where the weights or preferences are entered to help identify the preferred alternative. In our example in the May workshop in Santiago, the example of purchasing an automobile was used to highlight the elements of MCDA decision-making. The action is to choose a single car from a set of alternatives, and the decision-maker has identified a set of criteria that are important to her in making her choice. With a single decision-maker, the implementation and use of such a weighting matrix is self-evident.

	Fuel Efficient	# Passengers	Color	Price	# Kilometers	Style
Alternatives	The Criterion					
Car 1						
Car 2						
Car 3						
Car 4						

**Figure 1. A simple example highlighting the various elements of the MCDA process, including the alternatives, the criterion, and the weighting matrix.**

### The Alternatives

The alternatives or potential actions constitute the object of the decision. An important concept of alternatives in MCDA is that no two distinct potential actions can be simultaneously put into operation. MCDA is a means to choose an alternative, i.e. one-or-the-other, but not both. In the formulation of the alternatives, it is easy to suppose that they are mutually exclusive, but if this is not the case, then another modeling method should be chosen such that actions can be implemented conjointly

The set of defined alternatives or actions can evolve over the course of the decision aiding process, as the study process may shed new light on some aspects of the problem. Thus, the alternatives are not static, as new insights may lead to the revising of data, and possibly the modification of alternatives in terms of what is and what is not feasible. The set of alternatives are given as,  $A = \{a_1, a_2, .. a_n\}$ ; with each alternative,  $a$  defined by a set attributes  $a = \{x_1, x_2, .. x_n\}$ . In water resources, if the action is whether to build a pipeline or reservoir to achieve some water resource benefit, then relationships should be developed that describe those benefits those alternatives

### The Criterion

The criteria are the tools that are constructed or identified to evaluate and compare potential actions according to a point of view which must be well defined. Criteria can be qualitative or quantitative, with methods available to handle both. The definition and evaluation of criterion should take into account for each alternative, all the pertinent effects or attributes linked to the point of view. The performance of a criterion, is defined by some relationship,  $g(a)$ . In the example above, a set of the most relevant criteria around trying to make a car purchase among several alternatives is shown.

An important aspect of criteria selection is that a criterion should not be introduced or brought into play that reflects a value system that some of the decision makers would need to reject or is not part of the alternatives. In the case of the automobile example shown in Figure 1, if the choice of alternatives were only from a set of automobiles that were powered by gasoline, then a criteria that is based on whether the alternatives are powered by gasoline or electricity only would be invalid. If an electric power car alternative were introduced, then a new electric power criteria could be developed. This demonstrates the iterative nature of the decision-aiding process, and the concurrent refinement of both the alternatives and the criteria.

### **Methods or Models to Choose the Alternative in MCDA (Preference Modeling)**

There is a large body of research and literature surrounding decision analysis and specific methods, and this brief review will only highlight the methods that were implemented in a case study for a Florida municipal water provider in the United States.

Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) is a formal decision aiding (DA) process that adopts a systematic method of ranking alternatives based on weighted performance metrics (e.g., decision criteria). In a simple decision based on two or three criteria where one is the overriding factor, ranking alternatives is relatively easy. However, when multiple stakeholders with competing objectives are introduced into the planning process, the ranking is not as straightforward. Similarly, with a single decision-maker trying to balance multiple criteria that represent inherent trade-offs (e.g., environmental, financial, and social sustainability issues), the ranking of water supply alternatives becomes quite complex. It is difficult to quantify the marginal benefit of each criterion under each category that contributes to each alternative. Multi-criteria decision analysis (MCDA) offers a structured, defensible method of ranking alternatives against diverse quantitative and qualitative criteria (Kiker et al. 2005; Linkov et al. 2005, Lynne et al. 1978). The method leads

decision makers to identify key criteria that differentiate the choices and to assign a relative importance or weight to the criteria. Then the marginal difference in value of the criteria, under each management or decision alternative, is used in combination with the weights to provide a quantitative ranking. This gives a measure of the highest marginal value of each alternative, relative to each other, across diverse performance metrics.

Also of interest is the sensitivity of the outcome to the initial choice of decision analysis method.

A preliminary review of MCDA reveals that the two most prominent approaches include multi-attribute utility theory (MAUT) and outranking approaches such as PROMETHEE-GAIA. Outranking methods generally deal with problems that sort actions from the best option to the worst. In general, MAUT is used widely in the United States and outranking is preferred in European countries (Brans and Mareschal, 1992 and Yoe, 2002). This report will not deal with outranking methods.

The MAUT methods provide a foundation for selecting choice involving multiple criteria, often based on comparisons of alternatives or estimates of the strength of preference between pairs of alternatives. There is a framework of alternatives where there is certainty, and methods that are formulated in a risk or uncertain context. The MAUT uses pairwise comparisons, such as the analytical hierarchy process (AHP), leading the stakeholder through a series of choices that define preference and indifference functions. The underlying premise is that decision makers are trying to maximize a function  $U = U(g_1, g_2, \dots, g_n)$  where  $g_i$  is the measure of attribute  $a_i$  and represents different combinations of criteria. The idea is that there are many attributes or criteria that influence the utility perceived by the decision maker and maximizing utility may depend on the combination of criteria and may not be strictly additive. However, there are also situations where utility functions can be additive. Yoe, 2002 summarizes that MAUT involves determining the goals or properties that the decision maker's preferences must fulfill in a manner that can be represented mathematically and then building the function.

The AHP method is of particular interest to the DOH, and the reader is referred to the articles by Saaty (2000,2002). In AHP, relative measurements on absolute scales of both tangible and intangible criteria, based on the judgment of stakeholders, are made. The measurement of intangibles is the main concern of the mathematics of the AHP. To make tradeoffs among the many intangible objects

and criteria, judgments that are usually qualitative in nature, are expressed numerically. In AHP, the type of fundamental paired-comparison is shown briefly, with the reader referred to the USASCE (2010) or Saaty (2000,2002).

Importance	Definition	Explanation
1	Equal Importance	Two activities contribute equally
2	Weak Importance	One activity slightly favored
..		
9	Extreme Importance	Evidence highly favors one over the other

## **MCDA Methods in Water Resources**

In water resource management or infrastructure investment decisions, MCDA will often be developed around the selection of an alternative or action that is based on economic, social and environmental criteria in an uncertain decision environment in order to support stakeholders in managing their water resources. A common method of ranking alternatives is Saaty's analytical hierarchy process (AHP) approach, which was shown in the MCDA Workshop in Santiago as a method being explored by the DOH. Water resource management decision processes that are served by MCDA should identify the best solutions for existing conflicts, while promoting interaction with stakeholders and instruments in order to reach a sustainable strategy for water resources management. The MCDA process serves to:

1. Helps Identify the “Actors”
2. Helps Structure the Decision Process
3. Facilitates Cooperation through Mutual Understanding
4. Elaborates Recommendations
5. Can Legitimize Final Decision

A case study of a capital investment decision by a Florida Water Utility District (FWUD) is highlighted below. The example includes a formal stakeholder process that was used to formulate an iterative MCDA model and method. The example demonstrates issues around problem formulation, including stakeholder engagement and MCDA structuring. The example shows the nature of the criteria and how they were set, with the decisions involving different types of actions such as those related to water supply, irrigation, environmental considerations; cost, etc. The example shows the approach to setting weights and preference, and the method to choice and ranking.

In water resource decision making, the methods have been applied to help in capital investment decisions and in integrated water resource management (IWRM) processes. Calizaya et al. (2010) applied MCDA methods for IWRM in the Poopo River Basin in Bolivia, where the people of the watershed suffer from water scarcity during the dry season, low water quality; salinization and environmental



degradation of soil and water. These factors are leading to the migration of people from rural to urban areas. An MCDA methodology was applied that included economic, social and environmental criteria in an uncertain decision environment in order to support stakeholders in managing their water resources. This is a good example for the Chilean DOH, as Calizaya et al. used the analytical hierarchy process (AHP) to elicit best alternatives.

A second water resource management example was developed for a municipal water utility in the state of Florida, USA. In this case, a stakeholder driven MCDA process was developed and executed, including the implementation of MCDA in an Excel Spreadsheet that was hard-linked to a Water Evaluation and Planning (WEAP) model of the FWUD's water supply and demand system. Details of this case study are given below.

By involving multiple stakeholders with varied interests, the process will gain credibility, relevancy and legitimacy when selecting the alternative. Transparency can help keep the process honest, and lead to an acceptable outcome for all parties. The articulation of the alternatives and criteria should be carefully evaluated, to ensure that the process is not biased. For example, the introduction of criteria that are directly linked to the alternatives might constitute a "dishonest" set of criteria. In the example of the Florida Water Utility given below, an alternative was the building of a reservoir, while a criterion included the amount of storage. If a decision maker believed that additional storage was the highest priority, then the reservoir alternative would always be chosen. The development of a suitable set of criteria that is reviewed and critiqued in light of the given alternatives is very important.

So, A few issues to be aware of:

1. Is the decision aiding process seeking an honest evaluation of the alternatives, through a balanced and fair articulation of the alternatives and an appropriate set of criterion?
2. Is the process biased to a particular outcome or are the stakeholder really looking for the preferred or best alternative, or the validation of the preconceived alternative. In the case of the Florida Water Utility, the decision aiding process was used to support a pre-conceived alternative.
3. Simple methods of alternative selection might be preferred. The field of decision support and operations research can be highly technical and mathematical. Although this richness offers

interesting ways of bringing different types of information into the decision process, such as both quantitative and non-quantitative measures, ensuring the analysis is fair and balanced.

## **The FWUD Example: MCDA in Alternatives in a Water Supply Planning Projects**

Yates and O'neil (2010) applied MCDA in a formal, stakeholder driven process around capital investment decision for a municipal water system, for a Florida Water Utility District (FWUD) in the United States. The MCDA alternatives and criteria were developed through a consensus building process, as the FWUD has built a strong commitment to community at local, regional, and statewide scales. As such, a diverse stakeholder group was selected to help guide, verify, and aid in the decision modeling for the project. The stakeholder process included experienced professionals from the regional and state Regulatory Authority, adjacent utilities; and agricultural environmental and business interests.

For a given set of input and scenario assumptions, individual quantitative criteria are populated from the WEAP model run. This supports a type of dynamic feasibility analysis where model results are used in decision analysis. These criteria results are updated, and the alternatives are re-ranked, with each new run. Thus, decision makers can examine a baseline scenario and look at the impact of a range of future assumptions, not only in terms of graphs of individual parameter results, but also in terms of the cumulative impact of the changes on the ranking across multiple criteria. They can see the effect of changes not just on 'total volume' or 'net cost' but on the decision outcome across all of the performance criteria.

The contribution of this group was profound and perhaps as important as the MCDA models, tools, and methods. By intentionally involving a large group of committed professionals with a diverse range of interests and perspectives, it gave credibility, relevancy and legitimacy to the capital investment process. The benefits of stakeholder involvement were multi-fold. Five evening planning sessions were held and one conference call over a period of two years. The group donated their time (three hours each evening meeting) and the FWUD provided meeting space and coordination. This group was instrumental at many levels including: verifying model boundaries and assumptions; identifying key driving variables; defining and weighting performance criteria; and reviewing the validity of results. A subset of the group, adept at water modeling, participated in a full day working session learning how the model was constructed and assisting in refinement and calibration. This subset group was not originally planned, but emerged as the project progressed and consisted of highly

respected and experienced hydrogeologists and engineers. Their input, validation, and acceptance of the tool after this working session were important milestones.

The project roughly followed a USACE decision process developed for prioritizing projects for funding. The USACE decision framework has eight main components in a six-step process (Yoe, 2002): (1) Problem, (2) Alternatives, (3) Criteria, (4) Evaluation, (5) Weights, (6) Decision Matrix, (7) Synthesis and (8) Decision. These elements are often iterative and were applied concurrently, as an adaptive management process with the FWUD community. The overarching goals of the utility with respect to developing alternative sources of water supply. To demonstrate the kind of questions and issues that were asked in support of the DOH MCDA process, we list below some of the guidelines used in developing performance criteria. The preliminary lists of performance criteria and management alternatives were each quite long and diverse. Brainstorming was effective in eliciting a range of important factors but also resulted in some redundant and some un-measurable items.

### **Exploring Alternatives**

FWUD developed their 20-year Capital Improvement Plan (CIP) with new projects initiated when demand projections reach given volume triggers. Historically, the primary source of water supply has consistently been groundwater for FWUD, and planning to meet future demands was relatively straightforward. Now, the industry is facing groundwater and, in some areas surface water restrictions. A whole new set of water management alternatives, and recognition of the need for new planning techniques incorporating uncertainty, was needed. Beyond existing future groundwater permit allocations, the FWUD utility CIP incorporates a range of alternatives and water supply objectives to meet the Green Utility targets that it is striving to meet. Some of the CIP's multiple objectives include:

- Reduce 'regional system' impacts
- More water available to Comprehensive Everglades Restoration Plan (CERP)
- Long-term water availability planning
- Promote water conservation
- Mitigate localized well field impacts
- Avoid deep injection of effluent
- Reduce pumping costs
- Maximize funding
- Achieve Sustainable Water Resources Management targets

- Identification of Climate Change Impacts

The initial list of management alternatives included the following (the list itself is not important, but just the nature of the alternatives):

- Subregional Storage and Distribution – the C-51 and L-8 Reservoir
- Subregional Storage and Distribution – Northern Counties
- Site 1 Impoundment Reservoir
- Reduction of Lake Okeechobee Storage
- ASR Alternatives
- Reclaimed Water Recharge in Canals
- Future Wetland Location for Storage
- Membrane Bioreactor Treatment of Stormwater for Re-Use
- Mitigation of Saline Intrusion

The initial brainstorming resulted in a mix of alternatives, impacts, and external drivers, all important but not all specific management strategies. This evaluation process for the mix included a review of the criteria and questions such as: Is the item a true management alternative or is it more of an impact or external driver? Are sufficient data available to model the alternative? Is the alternative likely to impact long term water supply? Does the alternative have an immediate benefit or need for evaluation? Does it have regional impact or importance? The list was thus reduced and entered into a matrix for visual comparison across criteria. Over time the list was further narrowed to the final four that were: 1) of importance to the utility, and 2) sufficiently simple to demonstrate the tools and methods developed. The tool is designed to support dynamic planning and a wide range of alternatives can be constructed and evaluated after project completion.

### **Identifying the Performance Criteria**

The initial list of criteria for evaluating the alternatives was narrowed using a decision tree, which eliminated cross-correlated, redundant, non-measurable, and irrelevant items. Consideration of redundancy and correlation are not always obvious, but it is important to avoid double counting or weighing one attribute more heavily than the others. For example, coastal flooding, sea level rise, and saline intrusion all may be highly correlated. Including all three as criteria may over-influence the weight of the impact in the alternative ranking.

The final list included nine criteria are given below, with a majority of them being quantitative criteria that can be calculated by a model and a few that are assigned qualitative attributes through informed, expert judgment. Will list all of them in their detail to suggest that thoroughness for which they were defined in hopes that such detail might be helpful to the DOH. While the user of the MCDA model assigns qualitative criteria attributes of ‘low,’ ‘moderate’ or ‘high,’ the MCDA internally assigns numeric values of 1, 2, and 3, respectively. Stakeholders were asked to weight the relative importance of each criterion. A form was developed, based on a swing weighting method that is similar to AHP, to lead stakeholders through an evaluation process leading to a set of rankings. The form was designed to be interactive, allowing the user to change weights and see the impact on the ranking and results.

A few important notes about this MCDA formulation and the set of alternatives and criteria. Most importantly is that some of the identified CIP alternatives, which were formulated within the MCDA model, included additional storage, most notably the C-51 Reservoir. A closer examination of list of criteria outlined below, shows that Criteria 3 (C3) is **New Storage**. The fact that an alternative includes new storage, and also was part of a a criterion was a flaw in the MCDA process that was not identified until after the analysis. The reason that it is flawed is because if a stakeholder ranks the New Storage criteria quite high relative to the other criteria, then any alternative that includes additional storage will always be ranked high relative to all the other alternatives. Quite simply, **New Storage** should not have been listed as its own criteria in the MCDA table. The list of MCDA criteria is given below:

- C1: Water Available Net of Demand (Excess Capacity)** - The primary goal of any water provider is to always have a supply of water that exceeds anticipated demands. This criterion ‘Water Available Net of Demand’ is a measure of that balance. This criterion is measured as the excess potable water supply available net of demand. Larger values are better and negative values are not allowed. In WEAP, this criterion is calculated as the total capacity of the water treatment plants subtracted from the total demand for the last five years of the simulation.
- C2: New Regional System Offsets** - This criterion quantifies the amount of new “offsets” provided by alternative water projects. These offsets are computed by summing the extraction of water from the Upper Floridan Aquifer to WTPs 2 and 8 and 20% of the total amount of water passed through the C-51 reservoir during its lifetime of service during the study period.

- C3: New Storage** - This criterion is a measure of the additional storage in projects such as ASR systems and the C-51 reservoir averaged over the period 2025-2030.
- C4: Decrease Loss to Deep Injection** - This criterion quantifies the amount of treated wastewater disposed of via deep injection at the Southern Region Water Reclamation Facility (SRWRF).
- C5: Regional Solution – Flexible and Adaptable for the Future** - Qualitative criterion (based on stakeholder opinion rating) designed to weigh the value of flexible storage and distribution systems that increase storage of freshwater in wet seasons, decrease groundwater withdrawals, and provide adaptive distribution options for both PBC water users and the natural system.
- C6: Long-Term Capital and Permit Risks** - Qualitative criterion (based on stakeholder opinion rating) designed to weigh capital investment risks for long-term construction and bond ratings.
- C7: Project Cost (Present Value)**- This criterion gives an estimate of the present value of capital and O&M costs of each alternative. The objective is to give an estimate of the marginal cost of the new projects included in each alternative.
- C8: Flow (Loss) to Tide** -This criterion quantifies the amount of water flowing to tide (i.e., estuaries) via the West Palm Beach Canal in the wet season (May-September). The objective is to reduce freshwater flows to coastal waters to meet two goals: 1) maintaining estuary salinity balance by reducing peak flows; and 2) enhancing low flows so that they are available for beneficial use.
- C9: Energy Needs and Use** - Qualitative criterion (based on stakeholder opinion rating) designed to weigh the relative impact on energy requirements and carbon emissions.

### **Implementation in WEAP and Excel**

The FWUD capital improvement MCDA process developed an integrating set of tools that linked hydrologic and water resource modeling tools and the ‘science’ of climate change to the real decision process of a water utility. The hydrologic and water resource model was based on the Water Evaluation and Planning (WEAP) system, which provided a set of standard model outputs that informed a multi-criteria decision analysis (MCDA) process. The MCDA includes a wide range of tools, graphs, and tables that can be used to compare and rank the management alternatives. Figure 2 shows the alternative and criteria matrix for the FWUD MCDA process. The values in the criteria matrix, are linked to the WEAP model and updated dynamically. For example, Criteria 1, the *Water Available Net Demand*, is updated directly from WEAP simulation output. Not all criteria are updated from the WEAP water resource simulation process. Some of the criteria are updated directly within the MCDA matrix shown in Figure 2, where Criteria 5, 6, and 9 are ordinal criteria that

describe qualitative characteristics of the CIP. The user updates these criteria directly in the worksheet. WEAP model dynamically updates Criteria 1 through 4; and 7 and 8.

MCDA Matrix Alternative		Criteria										
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
		Water available net demand (excess cap)	Regional System Offsets	New Storage (Res and ASR)	Deep Injection	Regional solution-Flexible & Future	Long-term capital & permit risks	Project Cost-Capital Investm	Wet Season Flow to tide	Energy needs and use		
		WEAP	WEAP	WEAP	WEAP	Project Description	Project Description	WEAP	WEAP	Relative Estimate		
Active?	Max mgd	Max mgd	Max T ac-ft/yr	Min mgd	L,M,H	L,M,H	\$M NPV	Min mgd	L,M,H	Max units	Min units	
1	Yes	3.6	14.05	0.0	11.83	Low	Low	\$162	413.5	Low		
2	Yes	13.4	14.45	0.0	9.04	Low	Low	\$88	416.3	Low		
3	Yes	3.6	27.63	11.0	11.97	Moderate	Low	\$182	413.5	Moderate		
4	Yes	0.0	12.01	0.0	11.90	High	Moderate	\$0	422.2	High		
5	No					Moderate	Low			Moderate		
6	No					High	Moderate			High		
7	No					Low	Low			Low		
8	No					Moderate	Moderate			Moderate		
9	No					Low	Low			Low		
10	No					Moderate	Moderate			Moderate		
11	No					Low	Low			Low		
12	No					Moderate	Moderate			Moderate		

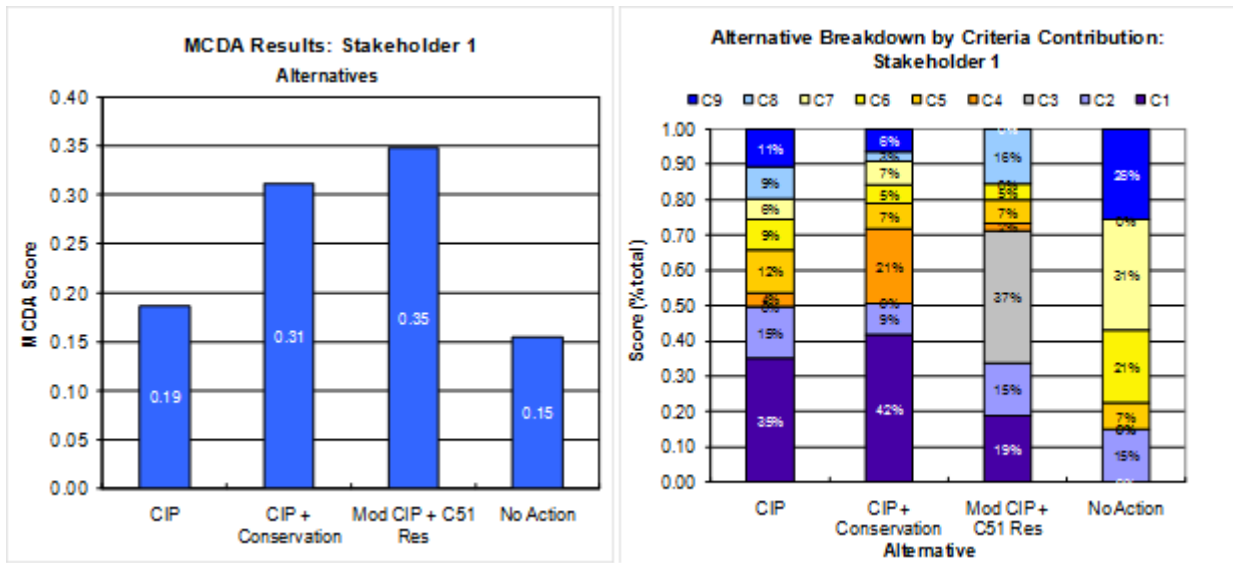
Figure 2. The Microsoft Excel MCDA tool.

The MCDA tool for FWUD was designed to allow the user to select one of three established selection methods: Weighted Average Method (WAM), Compromise Programming (CP), or PROMETHEE. Sensitivity can be analyzed within any one method or across methods. It is interesting to note, that for the sake of simplicity and communication to an already overtaxed set of stakeholders, the CIP analysis only used the simplest method- MAW. It is also interesting to note that peer reviewed and standardized software using each of the methods were used to verify the results obtained by the tool, to lend credibility and legitimacy to the outcome. Note, however, that despite this peer review, that and upon reflection of the process, that we now feel that the final criteria were biased. An examination of the alternatives and criteria in Figure 2 reveals that an alternative includes a reservoir, which provides additional storage. Additional storage is also one of the criterion, thus some alternative could be self-selecting.

Figure 3 summarize the results from one stakeholder’s set of choices, with the figure on the right used to help orient the reader to the specific criteria and their associated weights assigned by that stakeholder (see criteria table above for summary and key to the individual criteria). This stakeholder gives more weight to water supply (C1). Since there is a fairly strong difference between the magnitudes of



water supply availability under the different alternatives, the contribution of this criterion to the stakeholders selection dominates the CIP+Conservation alternative. In addition, the stakeholder gives some additional weight to regional offset (C2) and new storage (C3) relative to the other criteria, and since the Mod-CIP+C51 alternative is the only alternative that produces positive results for these criteria, the stakeholder chooses or ranks this alternative the highest. Note, however, that the CIP+Conservation alternative is a close second choice, since it yields more available water and reduces deep injection. This is an interesting outcome for the stakeholder, since it shows that new storage is strongly influencing the selection of the Mod-CIP+C51 alternative, and also points to the bias in the problem formulation- Storage should not be included as a criterion.



**Figure 3. An example of a single Stakeholder 1 Ranking of Alternatives and Criteria Contribution to that Ranking (see Criteria key above) for the set of parameter values summarized in the criteria table above.**

**Lessons Learned**

A set of relevant points and lessons learned for water utilities undergoing capital planning in times of change are listed below, many more are included throughout the report.

- A realization of the importance of being able to quickly examine changing conditions in long-term assumptions (for example, what if population and demand don't increase as planned or what if rainfall patterns do not repeat in the future).

- An understanding of the limitations of traditional integrated planning (static plans) to capture the complexities of multiple changes in trends and flows over time (i.e., a traditional plan may have been obsolete before it could be printed).
- An understanding of the influence of multiple criteria beyond cost and quantity of water in selecting sets of integrated alternatives (for example, quantifying the importance of the buffering aspects of storage in balancing supply and demand over uncertain hydrologic futures).
- An understanding of the importance of criteria selection and avoidance of ‘double-counting’ and non-quantifiable standards.
- The importance of stakeholder participation in capital planning and decision support.
- The value of simulation tools in demonstrating ‘non-intuitive’ results and in questioning common assumptions (for example, levels and methods of conservation that lead to meaningful changes in future water supply availability).

Overall, this research demonstrates the benefits of a dynamic tool in capital improvement planning and offers water utilities new methods of exploring the complex impacts of trend assumptions on the timing and risks of capital investments and supply reliability assessment.

### **Application to the Case of the DOH**

For the DOH, the ability to incorporate MCDA into their planning process could be beneficial if they have competing and contentious decisions, which require corporative assessment and fair evaluation. The simple methods of prioritizing alternatives could suggest Multi-attribute Utility Theory (MAUT) methods like AHP, that don’t require significant quantitative analysis. If more rigorous analysis is required, then other MCDA methods could be explored.

The most straightforward way to integrate the hydrologic and water resource modeling with real decision processes being undertaken by the Public Works Directorate (DOH) of the Ministry of Public Works (MOP) might be to use existing tools, such as the United States Army Corp of Engineers Decision Analytical tools. Details on the use of MCDA in water resource planning are described in their tutorials and the software is user-friendly and freely available. It can be found at, <http://www.pmcl.com/iwrplan/> as of July 2013. Alternatively, the DOH could make use of the Water Evaluation and Planning (WEAP) and the accompanying MCDA Microsoft Excel workbook and Visual Basic Applications (VBA) model that

dynamically links the alternatives, the criteria, and the weighting methods, to rank the alternatives. That spreadsheet is also available from David Yates ([yates@ucar.edu](mailto:yates@ucar.edu)).

### **Cited Publications and Other Selected References**

- Brans, Pierre J. and Bertrand Mareschal, 1992. PROMETHEE V: MCDM Problems with Segmentation Constraints, *INFOR* Vol. 30, No. 2., May.
- Calizaya, A., O. Meixner, L. Bengtsson, R. Berndtsson, 2010, Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) for Integrated Water Resources Management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia, *Water Resources Management*, 24, 10, pg. 2267-2289.
- Kiker, G., Bridges, T., Varghese, A., Seager, T. Linkov, I., 2005. Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 1, 2, pp. 95-108.
- Linkov I., Sahay, S., Kiker, G. Bridges, T., Seager, T., 2005. Multi-Criteria Decision Analysis: A Framework for Managing Contaminated Sediments. *Strategic Management of Marine Ecosystems*, pp. 271-297.
- Lynne GD, Luppold WG, Kiker C. 1978. Water price responsiveness of commercial establishment. *Water resources bulletin* (14): 719-729.
- Yoe, Charles, 2002. Trade-Off Analysis Planning and Procedures Guidebook. U.S. Army Institute for Water Resources (IWR), Decision Methodologies Division. Publication IWR -02-R-2.
- O'Neil, K. and D. Yates, A dynamic decision support system- Link water resource and simulation and decision analysis, Project 4074, The Water Research Foundation, Denver, CO.
- Figueira, Jose, G. Salvatore, M. Ehrgott, 2005, Multi-Criteria Decision Analysis: State of the Art Survey, Springer Science+Business Media.
- Saaty, R. 2000, *Decision Making in Complex Environments: The Analytic Network Process (ANP) for Dependence and Feedback: A Manual for the ANP Software Super Decisions*, Creative Decisions Foundatin, 4922 Ellsworth Ave., Pitts, PA 15213.
- Saaty, R. 2002, *Fundamentals of the Analytical Hierarchy Process*, RWS Publications, 4922 Ellsworth Ave., Pittsburgh, PA 15413.
- U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, IWR Planning Suite MCDA Module, User's Guide, October 2010. (<http://www.pmcl.com/iwrplan> accessed July 2013).

# MULTI CRITERIA DECISION MAKING IN WATER RESOURCES MANAGEMENT

Dr. Baris YILMAZ

Celal Bayar University, Turkey

**Abstract:** This paper is a review of MCDM methodologies including criteria weighting methods.

In the first part, some objective criteria weighting methods (Entropy, CRITIC) and one subjective weighting method, AHP are given in details, and the advantage and disadvantages of the methods are discussed. Then, the focus was given to three MCDM methods: Simple Additive Weighting (SAW), Compromise Programming (CP) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). In the second part, the linking WEAP model with MCDM is demonstrated in a water resources management model for the Gediz River Basin in Turkey. The proposed model aims to facilitate indicator-based decisions with respect to environmental, social and economic dimensions in a multiple criteria perspective.

## 1. Introduction

Multi Criteria Decision Making (MCDM) refers to making decisions in the presence of multiple, usually conflicting criteria. MCDM problems are commonly categorized as continuous or discrete, depending on the domain of alternatives. Vázquez & Rosato (2006) classify them as: (1) Multi Attribute Decision Making (MADM), with discrete, usually limited, predefined set of alternatives, requiring attribute comparisons and involving implicit or explicit tradeoffs; and (2) Multiple Objective Decision Making (MODM) (also known as multi objective mathematical programming), with decision variable values to be determined in a continuous or integer domain, of infinite or large number of choices, to best satisfy the decision maker (DM) constraints. However, in water resources management (WRM); the objectives, which indicate the directions of changing state in general forms of maximization and/or minimization, are conflicting due to the shared use of the limited resource. Objectives may also be non-commensurable due to the fact that the attributes that provide the achievement levels of objectives are generally measured in different units (Loucks et al., 1981; Bogardi & Nachtnebel, 1994; Szidarovszky et al., 1986; Duckstein & Opricovic, 1980). Thus, MCDM techniques where the 'criteria' indicate either an attribute or an objective or both, have been traditionally used in WRM literature.

MCDM has been used in water resources literature as a major component of **decision support systems** (Stransbury et al., 1991; Goicoechea et al., 1992; Qureshi & Harrison, 2001; Hamalainen et al., 2001; Fassio et al., 2005; Al-Shemmeri et al., 1997; Jaber & Mohsen, 2001; Maia & Schumann, 2007; Makropoulos et al., 2008). It has been applied to an array of problems in water resources, including **river basin planning** (Teclé, 1992; Pouwels et al., 1995; Qin et al., 2008; Abu-Taleb & Mareschal, 1995; Raj, 1995; Raju et al., 2000; Eder et al., 1997), **water supply/allocation and reservoir operation** (Ko et al., 1992; Harboe, 1992; Bogardi & Duckstein, 1992; Roy et al., 1992; Srdjevic et al., 2004; Flug et al., 2000; Ridgley et al., 1997; Mahmoud & Garcia, 2000), **urban water management** (Zarghami et al., 2008; Joubert et al., 2003; De Marchi et al., 2000), **design of monitoring networks** (Harmancioglu & Alpaslan, 1992; Ozkul et al., 2000; Woldt & Bogardi, 1992), **wastewater treatment alternatives** (Teclé et al., 1988; Kholgi, 2001; Khalil et al., 2005), **water quality** (Heilman et al., 1997), **groundwater management** (Pietersen, 2006; Shafike et al., 1992), **flood control** (Tkach & Simonovich, 1997), **wetland management** (Janssen et al., 2005), and **irrigation planning** (Raju & Kumar, 1999; Tiwari et al., 1999; Pillai & Raju, 1996; Raju & Pillai, 1999; Gupta et al., 2000). Since a wide spectrum of water related problems exist, new scientific articles on the topic are continuously produced, and it must be noted that the above given references are cited just to name a few. Therefore, to represent a general outlook of MCDM applications in WRM, it is considered to be more useful to classify the studies on the basis of their decision context (strategic or operational) and type of alternatives identified (discrete or continuous).

## 2. Overview of MCDM process

In general, a MCDM problem can be defined as follows:

*Concerning Eq. 1, let  $A = \{ A_i, \text{ for } i = 1, 2, 3, \dots, n \}$  be a (finite) set of decision alternatives and  $C = \{ C_j, \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, m \}$  a (finite) set of criteria according to which the desirability of an action is judged. Determine the optimal alternative (best alternative)  $A^*$  with the highest degree of desirability with respect to all relevant criteria  $C_j$  and criteria weights  $w = \{ w_j, \text{ for } j = 1, 2, 3, \dots, m \}$ .*

$$\begin{array}{cccc}
& w_1 & w_2 & \dots & w_m \\
& C_1 & C_2 & \dots & C_m \\
A = & \begin{bmatrix} A_1 & a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ A_2 & a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \cdot & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_n & a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix} & & & & (1)
\end{array}$$

Once the matrix is set up, the next step for the decision process is to define the weights ( $w_1, w_2, \dots, w_m$ ) of the criteria, which reflect of decision makers' (DM) subjective preferences or objectivity.

## 2.1. Objective weighting methods

### 2.1.1. Entropy method

*Entropy* is generally understood as a measure of uncertainty in the information as defined by Shannon and Weaver (1947). It indicates that a broad distribution represents more uncertainty than does a sharply peaked one (Deng et al., 2000). To determine objective weights by the entropy value ( $e_j$ ), the performance matrix in Eq. (1) needs to be normalized by Eq. (2). Then, a new matrix (Eq. 3) is derived, containing relative scores of alternatives across criteria.

$$r_{ij} = a_{ij} \left[ \sum_{i=1}^n a_{ij} \right]^{-1}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

The information contained in matrix  $R$  can be considered as the 'emission power' of each criterion  $C_j$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) and is used to compute an entropy value  $e_j$ :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n r_{ij} \ln r_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

A constant  $k$ ,  $k = 1/\ln n$ , is used to guarantee that  $0 \leq e_j \leq 1$ . The degree of divergence ( $f_j$ ) of the average intrinsic information contained in each criterion is calculated as:

$$f_j = 1 - e_j, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

It means that the more divergent the initial scores  $a_{ij}$  of alternatives  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) are for a given criterion  $C_j$ , the higher is its  $f_j$  and the more important is the criterion  $C_j$  for the problem. Consequently, if all alternatives have similar scores for a given criterion, this criterion is less important for the specific problem, and if all scores against this criterion are the same, the criterion can be eliminated because it transmits no information to the DM (Zeleny, 1982). If  $f_j$  is considered as the specific measure of inherent contrast intensity of the criterion  $C_j$ , the final relative weights for all criteria can be obtained by simple additive normalization:

$$w_j = f_j \left[ \sum_{j=1}^m f_j \right]^{-1}, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

Because the criteria weights are obtained directly from the performance matrix, i.e., independently of the DM, this qualifies the entropy method (EM) as an unbiased evaluation procedure, and the same holds true for the results obtained with that criteria weight set (Srdjevic et al., 2004).

### 2.1.2. CRITIC method

In addition to the entropy method (EM), any other method of measuring the divergence in performance ratings can be used to determine the objective weights. Diakoulaki et al. (1995) has proposed the CRITIC (The CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation) method that uses correlation analysis to detect contrasts between criteria, as described below.

If we assume the normalized matrix, Eq. (3), by examining the  $j$ th criterion in isolation, we generate a vector  $r_j$  denoting the scores of all  $n$  alternatives considered (Eq. 7):



$$r_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{nj}) \quad (7)$$

Each vector  $r_j$  is characterized by the standard deviation ( $\sigma_j$ ), which quantifies the contrast intensity of the corresponding criterion. So, the standard deviation of  $r_j$  is a measure of the value of that criterion to be considered in the decision making process.

Next, a symmetric matrix is constructed, with dimensions  $m \times m$  and a generic element  $l_{jk}$ , which is the linear correlation coefficient between the vectors  $r_j$  and  $r_k$ . It can be seen that the more discordant the scores of the alternatives in criteria  $j$  and  $k$  are, the lower is the value  $l_{jk}$ . In this sense, Eq. (8) represents a measure of the conflict created by criterion  $j$  with respect to the decision situation defined by the rest of the criteria:

$$\sum_{k=1}^m (1 - l_{jk}) \quad (8)$$

The amount of information  $C_j$  conveyed by the  $j$ th criterion can be determined by composing the measures which quantify the above two notions through the multiplicative aggregation formula (Eq. 9):

$$C_j = \sigma_j \sum_{k=1}^m (1 - l_{kj}) \quad (9)$$

According to the previous analysis, the higher the value  $C_j$  is, the larger is the amount of information transmitted by the corresponding criterion and the higher is its relative importance for the decision making process. Objective weights are derived by normalizing these values to unity (Eq. 10):

$$w_j = C_j \left[ \sum_{k=1}^m C_k \right]^{-1} \quad (10)$$

### 2.1.3. Other objective weighting methods

It is worth mentioning that Diakoulaki et al. (1995) and Deng et al. (2000) also recommended the *standard deviation* (SD) and *mean weight* (MW) methods to obtain objective weights. The SD

method calculates the weights by Eq. (11), where  $\sigma_j$  is the standard deviation of the performance rating vector  $r_{ij}$ :

$$w_j = \sigma_j \left[ \sum_{k=1}^m \sigma_k \right]^{-1} \quad (11)$$

The MW method derives objective weights by Eq. (12), where  $m$  is the number of criteria. Assignment of equal weights to the decision criteria reflects a completely neutral attitude of the decision maker, and it is often considered that such an attitude guarantees the objectivity of the evaluation process.

$$w_j = 1/m \quad (12)$$

## 2.2. Subjective weighting methods

The subjective criteria weights are usually assigned by the DMs, based on their own experiences, knowledge and perception of the problem. This assignment also may be made via a preference elicitation technique such as the analytic hierarchy process (AHP). However, the DMs involved in the decision process usually have different attitudes and can rarely reach an agreement on the relative importance of criteria. Another difficulty is the inconsistency problem in subjective weighting. The *Analytic Hierarchy Process* (AHP) developed by Saaty (1980) is a well known method of converting subjective assessments to a set of weights by pairwise comparisons between all criteria. The pairwise comparisons are quantified by using a linear scale as in Table 1.

Table 1. Scales of relative importance according to Saaty (1980)

Intensity of importance	Definition	Explanation
1	Equal importance	Two activities contribute equally to the objective(s)
3	Weak importance of one over another	Experience and judgment slightly favor one activity over another
5	Essential or strong importance	Experience and judgment strongly favor one activity

		over another
7	Demonstrated importance	An activity is strongly favored and its dominance demonstrated in practice
9	Absolute importance	The evidence favoring one activity over another is of the highest possible order of affirmation
2, 4, 6, 8	Intermediate values between the two adjacent judgments	Where compromise is needed
Reciprocals of the above nonzero numbers	If activity $i$ has one of the above nonzero numbers assigned to it when compared with activity $j$ , then $j$ has the reciprocal value when compared with $i$ .	

In accordance with Table 1, the decision maker is asked to define the pairwise comparison matrix,  $P$ , where the entries  $p_{ij}$  are described as the relative importance of the  $i$ th criterion with respect to the  $j$ th criterion (Eq. 13):

$$P = \begin{bmatrix} 1 & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & 1 & \dots & p_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

In the comparison process, once the upper triangular matrix is determined, the lower triangular matrix can be defined by Eq. (14):

$$p_{ji} = \frac{1}{p_{ij}} \quad (14)$$

The normalized pairwise comparison matrix ( $X$ ) is obtained by dividing each element in  $P$  by its column sum (Eq. 15). Then, the principal eigenvector ( $\lambda$ ) that defines the criteria weight vector ( $W$ ) is obtained by averaging across the rows of  $X$  (Eq. 16).

$$X = \begin{bmatrix} 1/\sum_{m=1}^m p_{m1} & \cdot & \cdot & p_{1m}/\sum_{t=1}^m p_{tm} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ p_{m1}/\sum_{m=1}^m p_{m1} & \cdot & \cdot & 1/\sum_{t=1}^m p_{tm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdot & \cdot & x_{1m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m1} & \cdot & \cdot & x_{mm} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$W = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} \sum_{m=1}^m x_{1m} \\ \cdot \\ \cdot \\ \sum_{t=1}^m x_{mt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_m \end{bmatrix} \quad (16)$$

In the above, the  $w_j$  ( $j=1, \dots, m$ ) shows the relative weights among the criteria that are compared, and the sum of criteria weights is 1. On the other hand, the consistency of weights must also be checked (Triantaphyllou, 2000). Saaty (1980) expresses the inconsistency of pairwise comparison matrix in terms of the *consistency index* (CI), which is defined as in Eq. 17, where  $\lambda_{\max}$  is the maximum eigenvector of the pairwise comparison matrix, and  $n$  is the order of that matrix. Saaty (1980) also claims that one should find an eigenvector corresponding to  $\lambda_{\max}$  as in Eq. (18), where  $\lambda_{\max} \geq n$ .

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (17)$$

$$P * W = \lambda_{\max} * W \quad (18)$$

Then, the consistency ratio (CR), which is the comparison between the consistency index (CI) and the random consistency index (RI), is determined as in Eq. (19) to measure the inconsistency of subjective judgments of DMs.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (19)$$

Here, RI (Table 2) denotes the average random consistency index obtained from a sample of size of 500 randomly generated reciprocal matrices with entries derived from the scale in Table 1. If this approach yields a CR value smaller or equal to 10%, the inconsistency is acceptable (Triantaphyllou, 2000).

Table 2. Random consistency index (RI)

<b>n</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>RI</b>	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

The AHP method is relatively simple to determine the criteria weights; however, the DM needs to define a total of  $n(n-1)$  subjective judgments among  $n$  criteria. Since this process is not easy, the DM may be overburdened to obtain reliable weights. Thus, in this study, the AHP is used to determine the weights of a few numbers of criteria which relate to the main management objectives.

### 2.3. Discussion on weighting methods

The main advantages of the objective methods are summarized below:

- The criteria weights are obtained directly from the performance matrix.
- Independent from the subjective preferences of the DMs.
- The decision makers cannot effect the decision process.
- The entropy method (EM) as an unbiased evaluation procedure and the same holds true for the analysis using these weights.
- Easy to use

As a disadvantage, the procedure can easily be affected by the performance matrix, so the reliable, accurate and adequate data should be used in the analysis.

Considering the AHP method, the DMs who involve in the decision process usually have different attitudes and can rarely reach an agreement on the relative importance of criteria. DM needs to define a total of  $n(n-1)$  subjective judgments among  $n$  criteria. Since this process is not easy, the DM may be overburdened to obtain reliable weights. In many cases, that results inconsistency in subjective weighting.

### 2.4. Multi Criteria Decision Making Methods

Once the performance matrix (PM) and the criteria weights are created, numerous MCDM methods can be used to identify the most preferred alternative. Simple Additive Weighting (SAW), Compromise Programming (CP) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

can be cited as the methods that are directly use the PM to rank the alternatives. EElimination Et Choice Translating Reality (ELECTRE) and Preference Ranking Organisation Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE) are the other important MCDM methods in literature. Generally, the first group is known as the *distance type methods* (excluding SAW), and the second group is the *outranking type methods*. However, the outranking type methods, which are based on the pairwise comparison between alternatives via selected criteria, need more subjective judgments like indifference, preference and veto thresholds to be determined by the DMs.

#### 2.4.1. Simple Additive Weighting (SAW)

The SAW method is a classic version of the multi-attribute value method. With a normalization procedure (Eq. 20) for each criteria  $j$ , the performance values ( $a_{ij}$ ) are transformed onto a commensurable scale between 0 and 1, where 1 represents the best performance. The selection of alternatives is made on the basis of  $u_i$  which is determined by Eq. (3.36):

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\max(a_{ij})} , \quad i = 1, 2, \dots, n , \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (20)$$

$$u_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} w_j , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (21)$$

The higher utility values, ( $u_i$ ), correspond to better alternatives. In this method, a complete compensation among the criteria is possible. In addition, for the minimizing criteria lower values are better, and the reciprocals of  $a_{i,j}$ , ( $1/a_{i,j}$ ), are to be used in the normalization procedure (Pomerol & Barba-Romero, 2000).

#### 2.4.2. Compromise Programming (CP)

This technique ranks alternatives according to their closeness to the so-called ‘ideal’ point. The best alternative in a set of efficient solutions is the one whose location is at the least distance from the ideal point. The weighted distance measure used in CP is the family of  $L_p$  metrics (Eq. 22) defined in especial way by Zeleny (1982). A parameter  $p$  is used to implicitly express the DM’s intent to balance the criteria ( $p = 1$ ), to accept decreasing marginal utility ( $p > 1$ ), or to search for an absolutely dominant solution ( $p = \infty$ ). Accordingly, the measurement of the distance is based on the  $p$  parameter, where  $p = 1$ ,  $p = 2$  and  $p = \infty$  correspond to *Block distance*, *Euclidean distance* and *Tchebycheff distance*, respectively (Pomerol & Barba-Romero, 2000). The most common value is  $p$

= 2, where larger distances from the ideal solution are penalized more than the smaller distances from the ideal.

$$L_i = \left[ \sum_{j=1}^m w_j^p \left| \frac{\max a_{i,j} - a_{i,j}}{\max a_{i,j} - \min a_{i,j}} \right|^p \right]^{1/p} \quad (22)$$

Whichever parameter value ( $p$ ) is used, an alternative with the minimum  $L_i$  metric is considered as the best. It should be mentioned that ( $\max a_{i,j}$ ) refers to the ideal point whereas ( $\min a_{i,j}$ ) refers to an anti-ideal point. However, if the decision maker can define the specific points for each criterion as ideal and anti-ideal, the relevant values can be shifted with the recommended ones. Where no such points exist, as in this study, they may be drawn from within the performance matrix (Hajkovicz & Higgins, 2008).

### 2.4.3. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

The TOPSIS method developed by Hwang & Yoon (1981) is based on order preference by similarity to the ideal solution. It is a rational and relatively simple method where the underlying concept is that the most preferred alternative should not only have the shortest distance from ‘ideal’ solution, but also the longest distance from an ‘anti-ideal’ solution. As an illustration, Figure 1 shows five alternatives A, B, C, D and E with a choice of two criteria; it also shows the ideal and anti-ideal points. It is obvious that, if we use the usual Euclidean distance ( $p = 2$ ) with equal weights, point C is the closest to the ideal and D is the furthest. TOPSIS solves this dilemma in the choice between the ideal and the anti-ideal. To apply the TOPSIS method, the performance matrix needs to be normalized by Eq. 23:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_{ij})^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

For each alternative  $a_i$ , the weighted distances  $d^M(a_i)$  and  $d^m(a_i)$  corresponding to the ideal and the anti-ideal are computed by Eq. (24) and Eq. (25), respectively, according to the chosen metric  $p$ :

$$d^M(a_i) = \left[ \sum_{j=1}^m w_j^p \left| \max(a_{ij}) - (a_{ij}) \right|^p \right]^{1/p} \quad (24)$$

$$d^m(a_i) = \left[ \sum_{j=1}^m w_j^p \left| \min(a_{ij}) - (a_{ij}) \right|^p \right]^{1/p} \quad (25)$$

The *similarity ratio* (Eq. 26) can be computed, using the above equations, and this varies from  $D(\min(a_i))=0$  for the anti-ideal point to  $D(\max(a_i))=1$  for the ideal point. The alternative with the highest ratio is the best option.

$$D(a_i) = \frac{d^m(a_i)}{d^M(a_i) + d^m(a_i)} \quad (26)$$

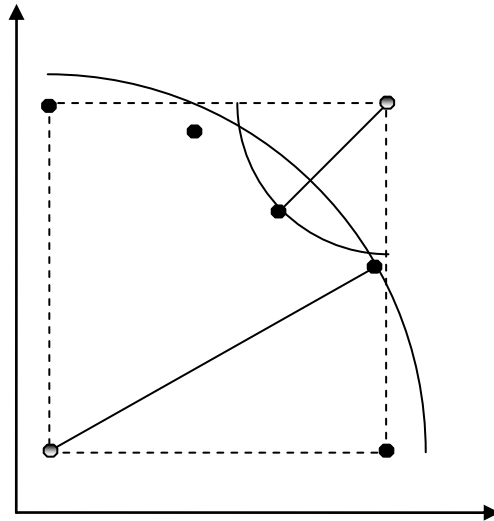


Figure 1. Illustration of the notations of distance to the ideal and the anti-ideal

#### 2.4.4. Discussion on MCDM methods

In the SAW method, a complete compensation among the criteria is possible. DM should think that if a positive value compensates the equal amount of a negative value. It may not be reasonable for some specific cases.

In the Compromise Programming method, it may be difficult for decision makers to define the ideal and anti-ideal points of performance scores of alternatives. Moreover, this procedure should be repeated for each criterion. Such points may be drawn from within the performance matrix (Hajkowicz & Higgins, 2008).

In TOPSIS, ranking base on the shortest distance from the ideal point and longest distance from negative point. With so doing, the DM can evaluate in the range of extreme values.



### **3. WEAP and MCDM in an example case**

In this case, a water resources management model that facilitates indicator-based decisions with respect to environmental, social and economic dimensions in a multiple criteria perspective is developed for the Gediz River Basin in Turkey. The basic input of the proposed model is the quantity of surface water that is mainly allocated to irrigation purposes. The model has been applied under three different hydro-meteorological scenarios that reflect baseline as well as better and worse conditions of water supply and demand, not only to reach a comprehensive assessment of water budget in Gediz Basin, but also to evaluate the impacts of proposed management alternatives under different conditions. The Water Evaluation and Planning (WEAP) software is used as a simulation and evaluation tool to assess the performance of possible management alternatives, which is measured by nine indicators representing economic, social and environmental sustainability. The study has delineated the best management alternative on the basis of three different multi criteria decision making (MCDM) methods including simple additive weighting (SAW), compromise programming (CP) and technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS). Each method is also applied with seven different sets of criteria weights that represent objective judgments as well as subjective preferences of decision makers.

#### **3.1. Methodology**

Figure 2 presents the overall methodology which is divided into four successive phases, analysis, scenario generation, evaluation and decision, each referring to a major step. The analysis phase essentially describes the representative water problems of the basin and produces the basic inputs for the next phase. Here, the topology of the water system (e.g. main rivers, reservoirs, lakes, transmission links, and demand sites), historical hydro-meteorological data, and changes in land use as well as crop pattern are the essential inputs for water supply/demand features. In the scenario generation phase, reference scenarios are developed as “developments which cannot be directly influenced by the decision makers”, i.e., changes such as hydro-meteorological variability or population growth. Since such changes influence the water balance in terms of demand and supply, it is significant to demonstrate different scenarios, especially representing the baseline, the best, and the worst cases, not only to evaluate the outcomes of alternative management practices, but also to estimate future basin conditions. In the evaluation phase, there are two main modules: (i) defining possible

alternatives (with their reasonable time frame of application) and evaluation criteria, (ii) simulating the comprehensive scenarios which combine reference scenarios and alternatives. The performance matrix obtained is the basic instrument for decision making. The decision phase aims to rank alternatives through the use of MCDM methods. The criteria weights are another important component that can manipulate the decisions. Therefore, in order to reach robust decisions, more than one MCDM method and different criteria weight sets are used in this phase.

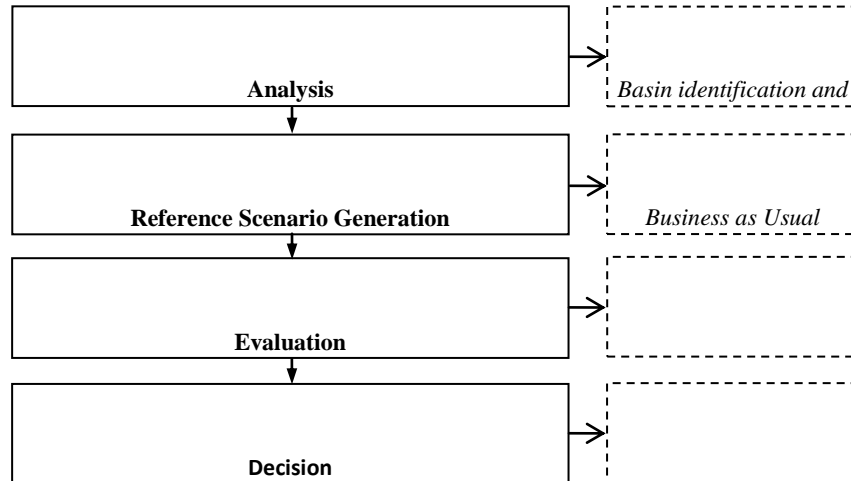


Figure 2. Overall methodology of the study

### 3.2. Water Evaluation and Planning System (WEAP)

Accomplishment of the above water management model requires computer software (simulation model) as an essential tool to account for water availability and demand scenarios, and also to evaluate possible management plans based on supply enhancement and/or demand management. In this study, the Water Evaluation and Planning System (WEAP), developed by the Stockholm Environment Institute, is used as it is compatible with the approach proposed. WEAP, which is free for academic

use, is also user friendly, easy-use software, and its applications generally involve the following steps (SEI, 2007):

- Problem definition including time frame, spatial boundary, system components and configuration;
- Establishing the “current accounts” which provides a snapshot of actual water demand, resources and supplies for the system;
- Building scenarios based on different sets of future trends based on policies, technological development, and other factors that affect demand, supply and hydrology;
- Evaluating the scenarios with regard to criteria such as adequacy of water resources, costs, benefits, and environmental impacts.

WEAP operates on a monthly time step, starting from the first month of the “current accounts” year and continuing up to the last month of the last scenario year; it computes water mass balance for every node and link in the system for the simulation period. Due to the publication limits, the detailed features, calculation algorithms and explanations of WEAP are not given here, but can be found in the user guide of the model (SEI, 2007).

### 3.3. Evaluation criteria

In order to evaluate the management alternatives, nine criteria that are relevant to environmental, social and economic sustainability are developed (Table 3). The methodology for calculating criteria values is based on two approaches. The first one is the use of average values for indicator time series that is obtained annually during the simulation period. The second approach, that has been recommended by the American Society of Civil Engineers and the International Hydrological Programme (working group of UNESCO), is the temporal aggregation of indicator time series using performance measures of reliability, resilience and vulnerability (ASCE, 1998). The detailed explanations and formulation procedure can be found in Yilmaz, 2009.

Table 3. The evaluation criteria

Criteria	Indicator	Unit	Description
ENVIRONMENTAL	Agricultural Sustainability Index (ASI)	[-]	The temporal aggregation of supply/demand ratio time series (only for irrigation) according to the performance measures where the satisfactory range is considered

			between 0.8 and 1.0
	Environmental Sustainability Index (ESI)	[-]	The temporal aggregation of supply/demand ratio time series (only for environmental needs) according to the performance measures where the satisfaction value is 1 (full coverage)
	Water Exploitation Rate (WER)	[-]	The percentage of surface water potential that is allocated for irrigation; (annual average is used in the evaluations)
	Yield Reliability (YR)	[-]	Average yield reliability of main cultivated crops (the satisfactory range is considered between 0.75 and 1.00 for all crops)
	Irrigation Water Deficit (IWD)	[ $10^6$ m <sup>3</sup> ]	Represents annual unmet demand for irrigation; (annual average is used in the evaluations)
SOCIAL	Domestic Supply Reliability (DSR)	[-]	The supply reliability of transmission link to Izmir from Gordes dam
	Benefit / Cost Ratio (B/C)	[-]	$\sum$ Benefits / $\sum$ Costs of management alternatives for the simulation period
ECONOMIC	Irrigation Water Use Efficiency (IWUE)	[€/m <sup>3</sup> ]	Production value (monetary) of agricultural practices per allocated water for irrigation; (annual average is used in the evaluations)
	Total Production Value (TPV)	[ $10^6$ €]	Annual total production value of agricultural practices; (annual average is used in the evaluations)

### 3.4. Management alternatives

In Table 4, the alternatives are proposed in accordance with the aim of the study; that is, to increase the water supply for irrigation and the irrigation efficiency and decrease the demand. The management alternatives are explained below along with their main assumptions, schedules and their relevant areas of application. Since the performance of these alternatives differs with respect to changing hydro-meteorological conditions, they are evaluated under each reference scenario.

Table 4. Management alternatives evaluated

Alternative	Description
-------------	-------------

---

Do nothing (A0)	No additional measures to the current system
Canal maintenance (A1)	Maintenance and replacement of irrigation networks in order to reduce the water losses
Crop pattern change (A2)	Substitution of existing crops by other crops that have lower irrigation water demand
Drip irrigation (A3)	Changes in the irrigation system (in favor of drip irrigation)
Pressured systems (A4)	Substitution of the existing water distribution system by a pressured system
A2 + A1 = (A5)	The alternative constituted jointly by crop changing and canal maintenance alternatives
A2 + A3 = (A6)	The alternative constituted jointly by crop changing and drip irrigation systems
A2 + A4 = (A7)	The alternative constituted jointly by crop changing and pressured distribution system

---

The alternative A1 addresses the gradual reduction of losses from 32% to 15% in six years, with an even distribution of costs throughout this period. This alternative assumes that the interventions will be implemented evenly in all transmission links. This is a reasonable way to ensure the same investment priority.

The alternative A2 is designed and applied to each irrigation district according to their cropping pattern trends. The main focus of the alternative setup is, in general, increasing the cultivation area of maize while decreasing the cotton cultivation. The slow increase of grape cultivation is also added to the analyses.

In recent years, the farmers in the basin are offered some significant incentives with subsidies to construct water saver irrigation technologies (e.g. drip irrigation systems). The policy is to promote the irrigation efficiency, which is currently estimated to be in the range of 60%. In accordance with this policy, the alternative A3 that is evaluated for improvement of irrigation methods is developed in two parts. The first part is the replacement of the current water distribution network by a pressured (piped) system. The investments are scheduled to be implemented in six years (2004-2010). The water loss in the piped system is assumed to be 2% of water passing through the link. The second part refers to a transition from the currently used furrow irrigation methods to drip irrigation systems in all irrigation districts. The drip irrigation alternative is introduced to the model by assuming that

the share of drip irrigation will be in the order of 80% of the irrigated area in 2030 and that the initial implementation will begin after 2010 (the operation year of the pressured system).

The alternative A4 evaluates only the first part of A3 which considers the use of drip irrigation. That is, it focuses only on the replacement of the current water distribution network by a piped one without the option of a transition to drip irrigation methods. With so doing, it is possible to evaluate how the performance indicators improve if high conveyance losses are reduced to a negligible size. It is also a reasonable way to evaluate a lower cost alternative relative to A3.

The alternative combinations, A5, A6 and A7 are also developed to evaluate the results of aggregated management plans. The crop pattern change alternative (A2) is considered together with canal maintenance (A1), drip irrigation (A3) and pressured systems (A4) alternatives to develop the A5, A6 and A7 alternatives, respectively.

### **3.5. Reference scenarios**

The reference scenarios developed are based on changing hydro-meteorological conditions, and simulations are run to identify the possible impacts of changing conditions on basin water budget in terms of water supply and demand. Accordingly, three main reference scenarios are developed with combinations of water availability and demand scenarios.

The Business as Usual (BAU) scenario foresees the preservation of long term averages with respect to water availability and water demand. In order to formulate the BAU scenario, the monthly average stream flows which were monitored between 1977 and 2003 are replicated for the simulation period. The water demand computations, where the monthly averages of temperature and precipitation are used, are carried out, considering constant irrigation areas as well as the same crop patterns for all irrigation districts.

The Pessimistic scenario (PES) focuses on low water availability and high demand. The project report dealing with the climate change effects in Gediz River Basin estimates the decreases in stream flows as well as in precipitation, and increases in the average monthly temperatures (SUMER, 2006). In this report, the expected future variations in these hydro-meteorological parameters are determined, using different climate change scenarios for the years 2030, 2050 and 2100. The results for 2030 in

the B2-SRES scenario, which emphasizes local solutions to economic, social and environmental sustainability with moderate population growth and economic development, are used to formulate the pessimistic scenario. Since the decrement in runoff is estimated to be about 23%, the monthly runoff time series used in the BAU scenario are decreased with this ratio to obtain pessimistic water availability conditions. Accordingly, the changes in precipitation and temperature with respect to the B2 scenario are used to set up the demand side of the water system. Since the estimations are given for 2030, a value in any given month within the simulation period is computed by linear interpolation.

The Optimistic scenario (OPT) foresees high water availability and stable water demand. In this scenario, the river flows are represented by the monthly runoff data that are increased by 23%. With so doing, the runoff series are considered not only as wet year averages, but also as the reversed conditions of the pessimistic scenario. Temperature and precipitation as well as the irrigation area are assumed constant in defining the stable water demand.

### **3.6. Criteria weights**

After the performance matrix is obtained, the next step in the decision making process is the determination of criteria weights. With respect to the methods explained previously, objective criteria weights are obtained by the performance matrix of each reference scenario, where EW, CW and SDW are the criteria weights derived by the entropy method, critic method and the standard deviation method, respectively. Reasonably, the MW represents the idea of equal weighting, and also an objective weighting procedure where the weight of each criterion is  $0.111(=1/9)$ , the sum being 1.

The subjective criteria weight sets, namely  $W_{ENV}$ ,  $W_{SOC}$  and  $W_{ECO}$ , are developed by AHP method to illustrate the subjective preference of the decision maker who is concerned with environmental, social and economic criteria. The AHP method is arranged among the criteria WER, DSR and B/C, which demonstrate the categories with respect to environmental, social and economic issues. With so doing, not only the number of required pairwise comparisons between the criteria ( $9*(9-1)/2=36$ ) are reduced to a manageable size ( $3*(3-1)/2=3$ ), but also the alternatives are evaluated by the criteria that are not considered important in the objective weighting methods.

### **3.7. Results**

The CP and TOPSIS, in which the distance is measured by the Euclidean distance ( $p=2$ ), and the SAW method are applied to rank the alternatives. Respectively, the alternative rankings with regard to CP, TOPSIS and SAW methods are given in Table 5, which summarizes the results obtained by relevant criteria weights for the BAU scenario. If we consider the weights obtained by EW, CW, SDW and MW, A3 is identified as the most preferred alternative for all MCDM methods, followed by A6 and A7. The worst alternatives are A0, A2 and A5. Although the subjective weights,  $W_{ENV}$  and  $W_{SOC}$ , have similar ranks, this is not true for  $W_{ECO}$ , in which significant weight is assigned on B/C. A1 and A5 alternatives are identified as the most preferred alternatives according to the DM who is concerned with economic criteria, while the alternatives including the drip irrigation method (A3 and A6) appear to be the worst.

Table 5. Rank of alternatives with different criteria weights and MCDM methods for BAU scenario

Alternative	EW	CW	SDW	MW	$W_{ENV}$	$W_{SOC}$	$W_{ECO}$
A0	8,8,8	8,8,8	8,8,8	8,8,8	7,7,7	8,8,8	5,5,5
A1	6,6,6	6,6,6	6,6,6	6,6,6	4,4,4	5,5,5	1,1,1
A2	7,7,7	7,7,7	7,7,7	7,7,7	8,8,8	7,7,7	6,6,6
A3	1,1,1	1,1,1	1,1,1	1,1,1	1,1,1	1,1,1	7,7,7
A4	4,4,4	4,4,4	4,4,4	4,4,4	5,5,5	4,4,4	3,4,4
A5	5,5,5	5,5,5	5,5,5	5,5,5	6,6,6	6,6,6	2,2,2
A6	2,2,2	2,2,2	2,2,2	2,2,2	2,2,2	2,2,2	8,8,8
A7	3,3,3	3,3,3	3,3,3	3,3,3	3,3,3	3,3,3	4,3,3

Note: The comma separated numbers demonstrate the ranking results of CP, TOPSIS and SAW, respectively.

The major results derived from the scenario analyses of possible hydro-meteorological variations in the Gediz River Basin and those evaluated on the basis of the proposed management alternatives can be summarized as the following:

- 1) The Basin is already under water stress and is also quite sensitive to drought conditions. If the pessimistic conditions, which lead to decreased water supply and increased water demand occur, the resulting successive water deficits will significantly affect the agricultural sector. Moreover, even



when the optimistic scenario is assumed to occur, it is not possible to observe a significant improvement in the water budget. Accordingly, efficient water management policies are crucial to solve water problems and to ensure sustainable development in the Gediz River Basin.

- 2) Considering environmental, social and economic sustainability, replacement of the water conveyance system by pressured lines coupled with the application of drip irrigation methods, alternative A3, is determined as the most efficient and satisfactory management strategy for the Basin. With this strategy, it is not only possible to minimize the negative impacts of droughts, but also to stabilize or improve the current performance indicators. According to the decision making process based on MCDM, the above recommended strategy should be supported further by additional measures, such as crop change applications, even if the conditions are worse than expected, in other words, even when the pessimistic scenario occurs.
- 3) Although they are easy or cheap, the traditional measures such as change of crop pattern (A2) and reduction of losses in the current water conveyance system (A1) are not considered as adequate and efficient responses for sustainable use of water resources.
- 4) The MCDM methods used in the study pinpoint the same alternative as the best choice. Thus, it is possible to say that the decision on the best alternative is basically independent of the MCDM method used, but slightly sensitive to the weights assigned to the criteria as well as the data used in the analyses. Availability of accurate and adequate data is imperative for reliable and robust decisions.
- 5) The use of the entropy method, which directly exploits the information contained in data, is assigned as a reasonable way in criteria weighting, and also for robust and unbiased decisions. Equal weighting is also another method that is proposed for decision makers dealing with a large set of alternatives to minimize their efforts for the weighting procedure.

### **3.8. Conclusion**

In the case study presented, a water resources management model that facilitates indicator-based decisions with respect to environmental, social and economic dimensions in a multiple criteria perspective is developed for the Gediz River Basin. The MCDM methods have identified the same

rankings among the management alternatives when objective weights are assigned to the criteria. A different ranking is obtained only with the weight set which heavily prioritizes economic indicators. Hence, criteria weighting is an important process in decision making.

An interesting point achieved with the case study is the remarkable consistency recognized between the current water management policies in the Gediz River Basin and the results of economy weighted analyses. In other words, canal maintenance is observed to be the most preferred alternative for both. This implies that a special emphasis is devoted to the cost of the alternative in real life applications. However, economic efficiency and environmental sustainability also need to be satisfied in management strategies. In this regard, the developed methodology is a valuable tool for the assessment of water resources systems and illustrates an efficient implementation of integrated water resources management approach for the Gediz River Basin. In particular, the WEAP software is a potentially useful tool for planning and management of water resources, and it provides a comprehensive, flexible and user friendly framework for evaluation of management strategies.

#### **4. Recommendations for Chile case**

MCDM is a practical and reasonable way to make the “best satisfactory” decisions among the alternatives. It can be used in the ranking problems in all aspects of investment projects. However, the first ranked alternative cannot be the desired one by all decision makers (DMs). The DMs who priorities the effects of economical or environmental or social benefits may prefer other alternative than the peaked one in MCDM. This is due to subjectivity or personal preferences. If there is still a contrary attitude for the rankings after an objective evaluation procedure in MCDM that is explained in previous sections, it is not a ranking problem; it can be named as a prioritizing problem. A group decision making process can address the most important or prior investment in the prioritizing problems. Experts from different sectors as well as stakeholders evaluate and discuss the pros and cons of investment plans according to country’s realities, economic/social and environmental needs. After the group decision session, the most important investment can be determined, and the alternative solutions should be determined for the investment. The MCDM can be used in ranking process of alternatives.

In MCDM, the alternatives are the possible solutions that serve for the same problem. For example, if the problem is water scarcity (as in Chile case), the possible solutions (alternatives) can be construction

of dams (one big dam or two small dams), maintenance of the water transmission channels to reduce water losses, making demand management in irrigation by the use of new water savers technologies to decrease water consumption, water pricing options to control the excessive water use, groundwater use etc. In that case, the possible criteria can be water supply/demand ratio, monetary benefits (B) and costs (C) of alternatives (or B/C ratio), the project time (as a minimizing criteria, can be determined by the project survey) etc. The experts also can benefit from the criteria used in the Gediz case. Concerning the first two criteria, WEAP is useful to assess the alternatives. Moreover, when the locations of dams, reservoir capacities and operational rules are diversified in the relevant basin, the number of alternatives can be increased. So, WEAP can evaluate the supply-demand interactions and reach the indicators for predefined set of criteria. It should be noted that, WEAP's capabilities may not solely address the numerical values of defined criteria. So, the user may need to use some other computer programs (MS Excel, Minitab etc.) or calculations to reach the numerical values of criteria (indicators).

The information about projects, study area, existing physical water structures, predicted costs as well as benefits, climate change, socio-economic and demographic organism, existing irrigation methods, crop patterns, environmental requirements etc. are all quite valuable data for a good setup of WEAP. The relevant accurate and adequate data are also important for the calibration procedure. The WEAP can be calibrated according to the water volume passing through the link and/or gauging stations, alternatively the water level in the reservoirs are important nodes for the calibration. The main aim is to determine the observed and modelled stream flows in the gauging stations. To this end, water demands have to be calculated accordingly. If the demand site is an irrigation area, the "green dots" in WEAP should be arranged as demand sites, so the crop water demand can be calculated with WEAP by using the climate data (effective precipitation, evapotranspiration etc), crop coefficient, irrigation areas etc. In WEAP, the supply requirements are taken from the water resources (dams, reservoirs or rivers) according to the downstream water demands. A practical starting way to calibrate the WEAP, is to use the one-year-long simulations, for a wet/normal and dry year. Transmission loss rates, effective precipitation rate, buffer coefficients of reservoirs (if exist) are the key parameters for the calibration. I recommend the WEAP user guide and relevant publications which include the use of WEAP. That can be found in the WEAP webpage. After the proposed alternatives' setting up into WEAP model, the model results show lots of outputs which are valuable for decision making process. The well-known outputs are the amount of unmet demand, supply reliability and crop yield (so the user can estimate the agricultural revenue of the alternative). The

outputs of WEAP are the inputs of decision matrix. They can be used in decision matrix directly or after a post process.

In MCDM, the definition of criteria is an important step because the selected criteria should take into account the requirements of all alternatives. That requires thinking about benefits of alternatives and decide on a common set of evaluation criteria. So, it is so difficult to decide on a common set of criteria for different types of investments (flood control and irrigation). In addition, in the criteria formulation process, the researcher should also think about “how I can measure the indicators of the proposed criteria”. The calculation of the indicators should be easily formulated, and useful for the decision process. In the decision matrix (alternatives versus criteria) every alternative can be evaluated with an indicator. The indicator can be qualitative or quantitative, however in both case it should be. If the benefits of alternative(s) is described qualitatively, the conversion to the numeric numbers can be done by the use of best-worst to 5-1 scale, or by more intensive scale. The AHP is also a valuable method not only for criteria weighting but also conversion of qualitative judgments to numerical values. In general, the rankings depends on the weights much more than the MCDM methods used. However, I recommend TOPSIS method for MCDM. Concerning the weighting procedure, entropy method is useful for objectivity. AHP is also a well-known weighting procedure, if the decision makers’ preferences are inevitable in the decision making.

## REFERENCES

- Abu-Taleb, M. F. & Mareschal, B. (1995). Water resources planning in the Middle East: application of PROMETHEE V multicriteria method. *European Journal of Operational Research*, 81, 500-511.
- Al-Shemmeri, T., Al-Kloub, T. & Pearman, A. (1997). Computer aided decision support system for water strategic planning in Jordan. *European Journal of Operational Research*, 102 (3), 455-472.
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (1998). *Sustainability Criteria For Water Resources Systems*. (Task Committee on Sustainability Criteria, Water Resources Planning and Management Division, ASCE and Working Group, UNESCO/IHP IV Project M-4.3). ASCE, Reston. Va.
- Bogardi, I. & Duckstein, L. (1992). Interactive multiobjective analysis embedding the decision maker’s implicit preference function. *Water Resources Bulletin*, 28, 75-88.
- Bogardi, J. J. & Nachtnebel, H. P. (Eds.). (1994): *Multicriteria Decision Analysis in Water Resources Management*, International Hydrological Programme, UNESCO: Paris.

- De Marchi, B., Funtowicz, S. O., Lo Cascio, S. & Munda, G. (2000). Combining participative and institutional approaches with multicriteria evaluation: an empirical study for water issues in Troina, Sicily. *Ecological Economics*, 34, 267-282.
- Deng, H., Yeh, C. H. & Willis, R. J. (2000). Inter-company comparison using modified TOPSIS with objective weights. *Computers & Operations Research*, 27, 963-973.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G. & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The CRITIC method. *Computers & Operations Research*, 22, 763-770.
- Duckstein, L. & Opricovic, S. (1980). Multi-objective optimization in river basin development. *Water Resources Research*, 16, 14-20.
- Eder, G., Duckstein, L. & Nachtnebel, H. P. (1997). Ranking water resource projects and evaluating criteria by multicriterion Q-analysis: an Austrian case study. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 6, 259-271.
- Fassio, A., Giupponi, C., Hiederer, R. & Simota, C. (2005). A decision support tool for simulating the effects of alternative policies affecting water resources: an application at the European scale. *Journal of Hydrology*, 304, 462-476.
- Flug, M., Seitz, L. H. & Scott, J. F. (2000). Multicriteria decision analysis applied to Glen Canyon Dam. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 126 (5), 270-276.
- Goicoechea, A., Stakhiv, E. Z. & Li F. (1992). Experimental evaluation of multiple criteria decision models for application to water resources planning. *Journal of American Water Resources Association*, 28 (1), 89-102.
- Gupta, A. P., Harboe, R. & Tabucanon, M. T. (2000). Fuzzy multiple-criteria decision making for crop area planning in Narmada River Basin. *Agricultural Systems*, 63, 1-18.
- Hajkowicz, S. & Higgins, A. (2008). A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management. *European Journal of Operational Research*, 184, 255-265.
- Hamalainen, R. P., Kettunen, E., Marttunen, M. & Ehtamo, H. (2001). Evaluating a framework for multi-stakeholder decision support in water resources management. *Group Decision and Negotiation*, 10 (4), 331-353.
- Harboe, R. (1992). Multiobjective decision making techniques for reservoir operation. *Water Resources Bulletin*, 28, 103-110.
- Harmancioglu, N. B. & Alpaslan, N. (1992). Water quality monitoring network design: a problem of multi-objective decision making. *Water Resources Bulletin*, 28, 179-192.
- Heilman, P., Yakowitz, D. S. & Lane, L. J. (1997). Targeting farms to improve water quality. *Applied Mathematics and Computation*, 83, 173-194.

- Hwang, C. L. & Yoon, K. S. (1981). *Multiple attribute decision making: methods and applications*. New York: Springer.
- Jaber, J. O. & Mohsen, M. S. (2001). Evaluation of non-conventional water resources supply in Jordan. *Desalination*, 136, 83-92.
- Janssen, R., Goosen, H., Verhoeven, M. L., Verhoeven, J. T. A., Omtzgt, A. Q. A. & Maltby, E. (2005). Decision support for integrated wetland management. *Environmental Modelling & Software*, 20, 215-229.
- Joubert, A., Stewart, T. J. & Eberhard, R. (2003). Evaluation of water supply augmentation and water demand management options for the City of Cape Town. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 12, 17-25.
- Khalil, W. A., Shanableh, A., Rigby, P. & Kokot, S. (2005). Selection of hydrothermal pre-treatment conditions of waste sludge destruction using multicriteria decision-making. *Journal of Environmental Management*, 75, 53-64.
- Kholghi, M. (2001). Multi-criterion decision making tools for wastewater planning management. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3, 281-286.
- Ko, S., Fontane, D. G. & Labadie, J. W. (1992). Multiobjective optimization of reservoir system operation. *Water Resources Bulletin*, 28, 111-127.
- Loucks, D. P., Stedinger, J. R. & Haith, D. A. (1981). *Water Resource Systems Planning and Analysis*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Mahmoud, M. R. & Garcia, L. A. (2000). Comparison of different multicriteria evaluation methods for Red Bluff diversion dam. *Environmental Modelling & Software*, 15, 471-478.
- Maia, R. & Schumann, A. H. (2007). DSS application to the development of water management strategies in Riberias do Algarve River Basin. *Water Resources Management*, 21, 897-907.
- Makropoulos, C. K., Natsis, K., Liu, S., Mittas, K. & Butler, D. (2008). Decision support for sustainable option selection in integrated urban water management. *Environmental Modelling & Software*, 23, 1448-1460.
- Ozkul, S., Harmancioglu, N.B., & Singh, V.P. (2000). Entropy-based assessment of water quality monitoring networks. *ASCE, Journal of Hydrologic Engineering* 5 (1), 90-100.
- Pietersen, K. (2006). Multiple criteria decision analysis (MCDA): a tool to support sustainable management of groundwater resources in South Africa. *Water SA*, 32 (2), 119-128.
- Pillai, C. R. S. & Raju. K. S. (1996). Ranking irrigation management alternatives by multicriterion analysis. *Water Resources Development*, 12 (3), 329-345.

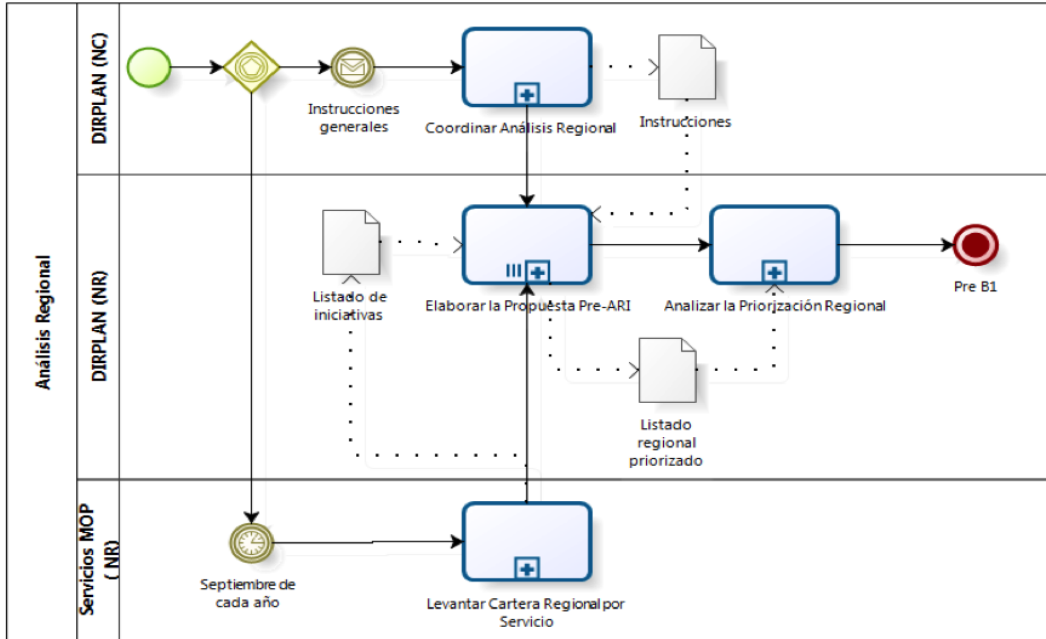
- Pomerol, J. C. & Barba-Romero, S. (2000). *Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice*. USA: Kluwer Academic Publishers.
- Pouwels, I. H. M., Wind, H. G. & Witter, V. J. (1995). Multiobjective decision-making in integrated water management. *Physics and Chemistry of the Earth*, 20, 221-227.
- Qin, X. S., Huang, G. H., Chakma, A., Nie, X. H. & Lin, Q. G. (2008). A MCDM-based expert system for climate change impact assessment and adaptation planning - A case study for the Georgia Basin, Canada. *Expert Systems with Applications*, 34, 2164-2179.
- Qureshi, M. E. & Harrison, S. R. (2001). A decision support process to compare Riparian revegetation options in Scheu Creek catchment in North Queensland. *Journal of Environmental Management*, 62, 101-112.
- Raj, P. A. (1995). Multicriteria methods in river basin planning - a case study. *Water Sci. Tech.*, 31 (8), 261-272.
- Raju, K. S. & Kumar, D. N. (1999). Multicriterion decision making in irrigation planning. *Agricultural Systems*, 62, 117-129.
- Raju, K. S. & Pillai, C. R. S. (1999). Multicriterion decision making in performance evaluation of an irrigation system. *European Journal of Operational Research*, 112, 479-488.
- Raju, K. S., Duckstein, L. & Arondel, C. (2000). Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: a case study in Spain. *Water Resources Management*, 14, 435-456.
- Ridgley, M., Penn, D. C. & Tran, L. (1997). Multicriterion decision support for a conflict over stream diversion and land-water reallocation in Hawaii. *Applied Mathematics and Computation*, 83, 153-172.
- Roy, B., Slowinski, R. & Treichel, W. (1992). Multicriteria programming of water supply systems for rural areas. *Water Resources Bulletin*, 28, 13-31.
- Saaty, T.L. (1980). *Analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill.
- Shafike, N. G., Duckstein, L. & Maddock, T. (1992). Multicriterion analysis of groundwater contamination management. *Water Resources Bulletin*, 28, 33-42.
- Shannon, C. E. & Weaver, W. (1947). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: The University of Illinois Press.
- Srdjevic, B., Medeiros, Y. D. P. & Faria, A. S. (2004). An objective multi-criteria evaluation of water management scenarios. *Water Resources Management*, 18, 35-54.
- Stockholm Environment Institute (SEI). (2007). *WEAP Water Evaluation and Planning System*. (User Guide for WEAP21). Stockholm Environmental Institute, U.S. Center. 20 December 2008, <http://www.weap21.org>

- Stransbury, T., Woldt, W., Bogardi, I., & Bleed, A. (1991). Decision support system for water transfer evaluation. *Water Resources Research*, 27 (4), 443-451.
- SUMER (2006) *Final report for studies on Modeling for climate change effects in the Gediz and Buyuk Menderes River Basins*. (SUMER-Su Kaynakları Yönetimi ve Su Kaynaklı Doğal Afetlerin Kontrolü Araştırma ve Uygulama Merkezi, Water Resources Management Research & Application Center, Dokuz Eylül University, Izmir).
- Szidarovszky, F., Gershon, M. & Duckstein, L. (1986). *Techniques for Multiobjective Decision Making in Systems Management*. Amsterdam: Elsevier.
- Teclé, A. (1992). Selecting a multicriterion decision making technique for watershed resources management. *Water Resources Bulletin*, 28, 129-140.
- Teclé, A., Fogel, M. & Duckstein, L. (1988). Multicriterion selection of wastewater management alternatives. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114, 383-398.
- 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, 99-112.
- Tkach, R. J. & Simonovic, S. P. (1997). A new approach to multi-criteria decision making in water resources. *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 1, 25-43.
- Triantaphyllou, E. (2000). *Multi-criteria decision making methods: A comparative study*. P. Parlos (Ed.). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Vázquez, J. F. & Rosato, P. (2006). Multi-criteria decision making in water resources management. In C. Giupponi, A. J. Jakeman, D. Karssenbergh & M. P. Hare, (Eds.). *Sustainable management of water resources: an integrated approach* (98-128). UK: Edward Elgar Publishing.
- Yilmaz, B. (2009). Multi Criteria Decision Analysis for Water Resources Management in the Gediz River Basin. *Ph.D. Thesis*, Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Izmir, Turkey.
- Web access:  
<http://www.fbe.deu.edu.tr/ArchieveDetail.aspx?Yayin=593&Type=Thesis&Ogrenci=2002900266>
- Woldt, W. & Bogardi, I. (1992). Ground water monitoring network design using multiple criteria decision making and geostatistics. *Water Resources Bulletin*, 28, 45-62.
- Zarghami, M., Abrishamchi, A. & Ardakanian, R. (2008). Multi-criteria decision making for integrated urban management. *Water Resources Management*, 22, 1017-1029.
- Zeleny, M. (1982). *Multiple criteria decision making*



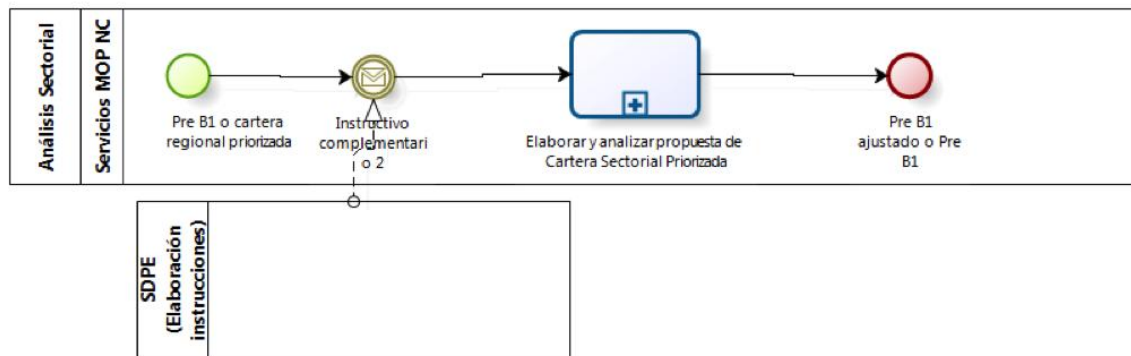
## ANEXO 11.

### Flujogramas de los procesos de planeación del MOP



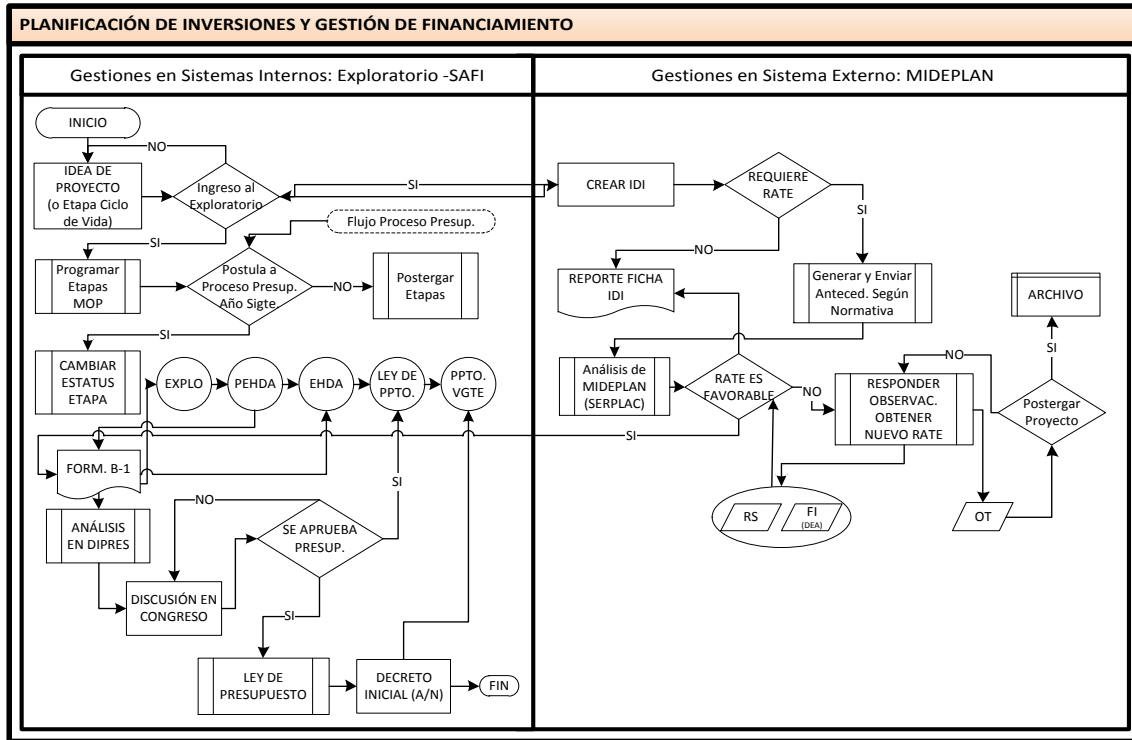
**Figura 3.2.2b.** Detalle Diagrama procesos Proyecto de Ley anual: Análisis Regional.

Fuente: “Modelo Gestión de Inversiones MOP Diciembre 2012”, Bizagi Process Modeler. Departamento de Planificación, Dirección de Obras Hidráulicas, 2012.



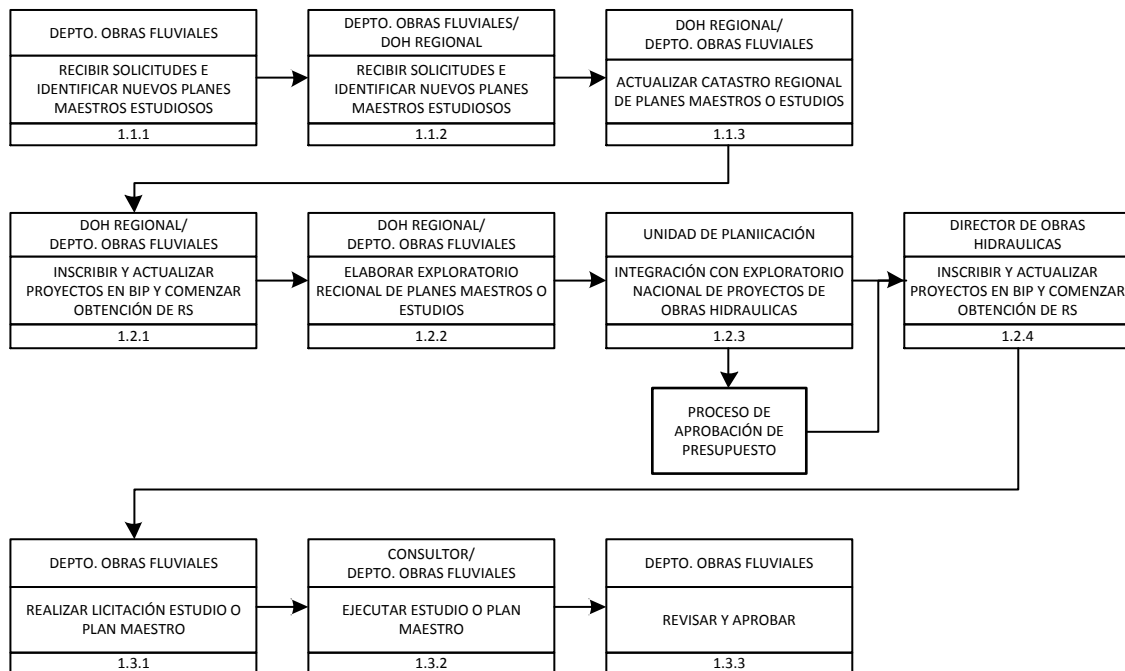
**Figura 3.2.2c.** Detalle Diagrama procesos Proyecto de Ley anual: Análisis Sectorial.

Fuente: “Modelo Gestión de Inversiones MOP Diciembre 2012”, Bizagi Process Modeler. Departamento de Planificación, Dirección de Obras Hidráulicas, 2012.



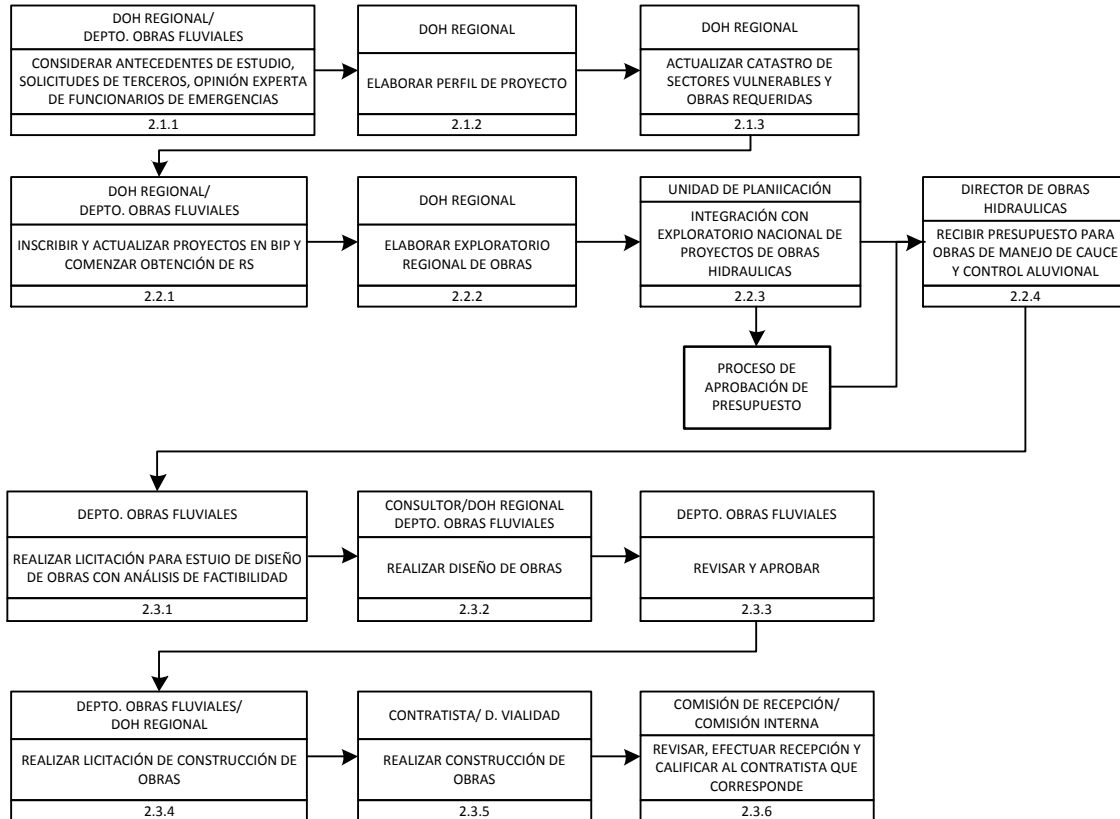
**Figura 3.2.2d.** Relación MOP y MDS. Planificación de Inversiones y Gestión de Financiamiento.

Fuente: Presentación “Sistema Exploratorio, Capacitación 2013”, Departamento de Planificación, Dirección de Obras Hidráulicas, Abril 2013.



**Figura 3.2.3d.** Mapa de Procesos para el Desarrollo de Planes Maestros y Estudios de Cauces.

Fuente: Presentación “Análisis de Procesos”, Dirección de Obras Hidráulicas, Departamento De Obras Fluviales, Subdirección de Cauces y Drenaje Urbano, Ministerio De Obras Públicas. Octubre 2001.



**Figura 3.2.3e.** Mapa de Procesos Nivel 2 Obras de Manejo de Cauce y Control Aluvional.