



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

---



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AMBIENTALES Y  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Informe final

---

Estudio "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile"



Jefe de proyecto:  
Rodrigo Fuster Gómez

Investigadores principales:  
Luis González Fuenzalida  
Luis Morales Salinas  
Claudia Cerda Jiménez  
Jaime Hernández Palma  
Diego Sotomayor Barros

Asistentes de investigación:  
Gloria Lillo Ortega  
Meliza González Cáceres  
Cristian Escobar Avaria

Tesistas:  
Matías Maldonado Gatica  
Julio Valdebenito Parada





## TABLA DE CONTENIDOS

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO</b>	<b>9</b>
<b>2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b>	<b>10</b>
<b>3 CUENCAS PILOTO</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO 2: ESTADO DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE Y EL MUNDO</b>	<b>13</b>
<b>4 LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>15</b>
4.1 DEFINICIÓN DE LA GIRH	15
4.2 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA NATURAL	16
4.3 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA HUMANO	17
4.4 LOS PRINCIPIOS DE LA GIRH	20
<b>5 ESTADO DE SITUACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN CHILE</b>	<b>21</b>
5.1 FUNCIONAMIENTO DEL MODELO CHILENO DE GESTIÓN DE LAS AGUAS	21
5.2 LA ASIGNACIÓN Y REASIGNACIÓN DEL AGUA	22
5.3 LA ORGANIZACIÓN DE LOS USUARIOS	23
5.4 LOS ASPECTOS SOCIALES Y AMBIENTALES EN EL MODELO CHILENO DE GESTIÓN DE LAS AGUAS	24
5.5 BATERÍA DE CRITERIOS A CONSIDERAR PARA EL LOGRO DE UNA GIRH.	26
5.6 OTROS TEMAS DE INTERÉS EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE.	27
<b>6 ANÁLISIS DE LAS NORMATIVAS LEGALES DEL AGUA EN CHILE Y SUS REFORMAS</b>	<b>32</b>
6.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL DERECHO DE AGUAS	32
6.2 EL CÓDIGO DE AGUAS	33
6.3 EL MERCADO DE LAS AGUAS EN CHILE	38
6.4 LAS MODIFICACIONES AL CÓDIGO DE AGUAS	40
<b>7 SISTEMATIZACIÓN DE DOCUMENTOS RELACIONADOS CON LA GIRH</b>	<b>42</b>
7.1 METODOLOGÍA	42
7.2 BASE DE DATOS	43
<b>8 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>46</b>
8.1 INTRODUCCIÓN	46
8.2 BRASIL	46
8.3 COLOMBIA	48
8.4 SUDÁFRICA	50
8.5 MÉXICO	52
8.6 CONCLUSIONES	56
<b>CAPÍTULO 3: LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE</b>	<b>58</b>
<b>9 MAPA DE RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE</b>	<b>59</b>
<b>10 DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN CUENCAS PILOTO</b>	<b>60</b>
10.1 INTRODUCCIÓN	60
10.2 CLASIFICACIÓN DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO	60



10.3	CUENCA DEL RÍO LLUTA	61
10.4	CUENCA DEL RÍO LOA	65
10.5	CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ	69
10.6	CUENCA DEL RÍO LIMARÍ	71
10.7	CUENCA DEL RÍO MAIPO	74
10.8	CUENCA DEL RÍO MAULE	81
10.9	CUENCA DEL RÍO BIOBÍO	85
10.10	CUENCA DEL RÍO BAKER	88
10.11	CONCLUSIONES SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA	91
<b>11</b>	<b>PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POR CUENCA EN CHILE</b>	<b>94</b>
11.1	AGUAS SUPERFICIALES	95
11.2	AGUAS SUBTERRÁNEAS	103
11.3	CONCLUSIONES	103
<b>12</b>	<b>UTILIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS NO CONVENCIONALES</b>	<b>105</b>
12.1	REGENERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA	105
12.2	AGUAS DESALADAS	115
12.3	CONCLUSIONES: LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS NO CONVENCIONALES EN CHILE	124
<b>13</b>	<b>IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>127</b>
13.1	CAMBIO CLIMÁTICO Y ESCENARIOS DE EMISIONES	127
13.2	CAMBIOS OBSERVADOS	129
13.3	CAMBIOS PROYECTADOS	129
13.4	CAMBIOS ESPERADOS EN CHILE	133
13.5	ADAPTACIÓN	139
13.6	COMPROMISOS DEL PAÍS	139
13.7	MODELOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTO PRESENTE Y FUTURO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS ASPECTOS CUALITATIVOS Y CUANTITATIVOS DEL AGUA	140
<b>14</b>	<b>ESTIMACIÓN DE LAS DEMANDAS FUTURAS DE AGUA, CONSUNTIVAS Y NO CONSUNTIVAS, EN LAS CUENCAS PILOTO</b>	<b>145</b>
14.1	INTRODUCCIÓN	145
14.2	METODOLOGÍA DE TRABAJO	145
14.3	ANÁLISIS DE PROYECCIONES DE DEMANDA	148
14.4	CONCLUSIONES	156
<b>15</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE TIPOS DE PROBLEMAS AMBIENTALES POR CUENCA SEGÚN CALIDAD DEL AGUA Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN</b>	<b>158</b>
15.1	INTRODUCCIÓN	158
15.2	CUENCA DEL RÍO LLUTA	158
15.3	CUENCA DEL RÍO LOA	162
15.4	CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ	163
15.5	CUENCA DEL RÍO LIMARÍ	166
15.6	CUENCA DEL RÍO MAIPO	169
15.7	CUENCA DEL RÍO MAULE	172
15.8	CUENCA DEL RÍO BIOBÍO	175
15.9	CUENCA DEL RÍO BAKER	179
15.10	CONCLUSIONES	184
<b>16</b>	<b>ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS INDUSTRIAS SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>185</b>
16.1	INTRODUCCIÓN	185



16.2	CUENCA DEL RÍO LLUTA	186
16.3	CUENCA DEL RÍO LOA	187
16.4	CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ	190
16.5	CUENCA DEL RÍO LIMARÍ	192
16.6	CUENCA DEL RÍO MAIPO	193
16.7	CUENCA DEL RÍO MAULE	196
16.8	CUENCA DEL RÍO BIOBÍO	198
16.9	CUENCA DEL RÍO BAKER	201
16.10	CONCLUSIONES	202
<b>17</b>	<b>INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS</b>	<b>205</b>
17.1	INTRODUCCIÓN	205
17.2	IMPORTANCIA DE LOS INDICADORES	205
17.3	DEFINICIÓN	206
17.4	INDICADORES DE DESARROLLO SOSTENIBLE	206
17.5	EXPERIENCIAS EN OTROS PAÍSES	207
17.6	SITUACIÓN EN CHILE	210
17.7	TIPO DE INDICADORES DESARROLLADOS	210
17.8	MARCO CONCEPTUAL PARA EL DESARROLLO DE IDS	213
17.9	INDICADORES PROPUESTOS	216
<b>18</b>	<b>RECURSOS HÍDRICOS COMPARTIDOS EN CHILE</b>	<b>223</b>
18.1	CUENCAS COMPARTIDAS CON PAÍSES VECINOS	223
18.2	METODOLOGÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE CUENCAS COMPARTIDAS	227
18.3	DERECHOS DE APROVECHAMIENTO COMPARTIDOS CON OTROS PAÍSES	229
<b>19</b>	<b>ACCESO AL AGUA EN CHILE</b>	<b>230</b>
19.1	CONFLICTOS POR ACCESO AL AGUA EN CUENCAS PILOTO	230
19.2	ACCESO AL AGUA DE USOS <i>IN SITU</i> EN CUENCAS PILOTO	238
19.3	CONCLUSIONES	245
<b>20</b>	<b>VALORACIÓN ECONÓMICA DE POLÍTICAS RELACIONADAS CON EL AGUA</b>	<b>246</b>
20.1	MÉTODOS DE VALORACIÓN ECONÓMICA PARA LA EVALUACIÓN DE POLÍTICAS RELACIONADAS CON EL AGUA	246
20.2	CARACTERIZACIÓN Y VALORACIÓN DE BIENES Y SERVICIOS INTANGIBLES PROPORCIONADOS POR CUENCAS HIDROGRÁFICAS	254
20.3	METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LOS COSTOS Y BENEFICIOS DE UNA POLÍTICA INTEGRAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.	262
20.4	MÉTODO DEL ANÁLISIS COSTO BENEFICIO APLICADO A LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS	263
<b>CAPÍTULO 4: PROPUESTAS PARA AVANZAR EN LA GIRH EN CHILE</b>		<b>267</b>
<b>21</b>	<b>IMAGEN DEL ESTADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE</b>	<b>269</b>
21.1	EL AGOTAMIENTO DEL AGUA	269
21.2	LA DEGRADACIÓN DEL AGUA	270
21.3	CONFLICTOS EN EL ACCESO AL AGUA	271
<b>22</b>	<b>LA GESTIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE</b>	<b>272</b>
22.1	MODELO DE LA GESTIÓN ACTUAL DEL AGUA EN CHILE	272
22.2	LA LEGISLACIÓN Y LA INSTITUCIONALIDAD PÚBLICA	275
<b>23</b>	<b>PROPUESTA DE POLÍTICA DE CARÁCTER ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL</b>	<b>277</b>
23.1	INTRODUCCIÓN	277



23.2	ENFOQUE	277
23.3	PRINCIPIOS RECTORES	278
23.4	PROPÓSITOS / OBJETIVOS DE LA POLÍTICA	279
23.5	ESTRATEGIAS DE ACCIÓN	279
23.6	CONCLUSIÓN	302
<b>24</b>	<b>PROPUESTA PARTICIPATIVA DE RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS EN TORNO AL AGUA</b>	<b>304</b>
24.1	LOS CONFLICTOS DE AGUA EN CHILE Y LAS ACTUALES VÍAS DE RESOLUCIÓN	304
24.2	PROPUESTAS PARA LA RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS	307
<b>25</b>	<b>PROPUESTAS DE DESARROLLO DE INSTRUMENTOS DE USO EFICIENTE DEL AGUA, INCENTIVOS A LA INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA</b>	<b>312</b>
25.1	PROGRAMA DE MESAS DEL AGUA (PMA)	312
25.2	GESTIÓN AMBIENTAL DE CUENCAS	313
25.3	INSTRUMENTOS PARA EL USO EFICIENTE EN EL SECTOR DOMÉSTICO	314
25.4	INSTRUMENTOS PARA EL USO EFICIENTE EN EL SECTOR AGRÍCOLA	316
25.5	PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES	318
25.6	DESALACIÓN DE AGUA DE MAR.	319
25.7	REUTILIZACIÓN DEL AGUA	319
<b>26</b>	<b>PROPUESTAS PARA UNA POLÍTICA DE LARGO PLAZO SOBRE LA GESTIÓN DEL AGUA</b>	<b>321</b>
26.1	PRINCIPIOS Y CONCEPTOS CENTRALES	321
26.2	OBJETIVOS DE UNA PROPUESTA A LARGO PLAZO	322
26.3	ESTRATEGIA DE ACCIÓN	322
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>328</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>332</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>354</b>
<b>ANEXO 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS EN ACUERDOS INTERNACIONALES</b>		<b>356</b>
<b>ANEXO 2: PARTICIPANTES DE LAS MESAS REGIONALES DE AGUA</b>		<b>357</b>
<b>ANEXO 3: MODELO PROPUESTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.</b>		<b>358</b>
<b>ANEXO 4: MÉTODO PROPUESTO DE ESTIMACIÓN DE LOS L-MOMENTOS</b>		<b>359</b>
<b>ANEXO 5: ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS QUE PERMITEN VALORAR ECONÓMICAMENTE BIENES Y SERVICIOS INTANGIBLES PRESENTES EN ECOSISTEMAS HÍDRICOS</b>		<b>361</b>
VALORACIÓN CONTINGENTE:		361
ANÁLISIS CONJOINT (EXPERIMENTOS DE ELECCIÓN)		362
<b>ANEXO 6: HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES DE APOYO A LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS</b>		<b>364</b>
<b>ANEXO 7: APORTES CONCEPTUALES A LA ELABORACIÓN DE UNA POLÍTICA</b>		<b>368</b>
PASOS METODOLÓGICOS EN LA ELABORACIÓN DE UNA POLÍTICA		368
<b>ANEXO 8: MINUTAS DE REUNIONES</b>		<b>374</b>
<b>ANEXO 9: FUENTES PRIMARIAS DE INFORMACIÓN UTILIZADAS: ENTREVISTAS, ASISTENCIA A ACTIVIDADES Y PANELES DE EXPERTOS.</b>		<b>385</b>
DETALLE DE ENTREVISTAS REALIZADAS		385
DETALLE DE ACTIVIDADES EN LAS QUE HA PARTICIPADO EL EQUIPO DE TRABAJO		388
PANELES DE EXPERTOS		389
<b>ANEXO 10: LISTADO DE ACRÓNIMOS</b>		<b>391</b>

# Capítulo 1:

---

## Introducción





## 1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El presente informe es el resultado final de seis meses de investigación para el proyecto "Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile", elaborado por el Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, cumpliendo con las bases de la licitación presentada por la Biblioteca del Congreso Nacional, a través de fondos del Banco Interamericano del Desarrollo.

El **objetivo general** planteado para este proyecto en la etapa de licitación es el siguiente:

*"Evaluar el estado actual y la gestión de los recursos hídricos nacionales, bajo un marco económico, social y ambiental de las principales cuencas hidrográficas de Chile, con la finalidad de fomentar su uso sostenible, proteger el recurso, reducir su contaminación y mitigar los efectos de las sequías e inundaciones, de acuerdo a su demanda industrial, doméstica y ambiental".*

A su vez, los **objetivos específicos** planteados fueron los siguientes:

- a) Determinar la disponibilidad total actual del recurso agua en cada una de las principales cuencas hidrográficas, considerando su estado ambiental.
- b) Evaluar la disponibilidad del recurso hídrico por cuerpos de agua superficial y subterránea, incluyendo el estado de los pozos subterráneos.
- c) Analizar el acceso al aprovechamiento del recurso hídrico por cuenca hidrográfica y las soluciones en la distribución.
- d) Analizar distintos métodos para determinar la disponibilidad del recurso hídrico superficial y subterráneo, sus deficiencias y soluciones de optimización.
- e) Proponer mecanismos de solución a los problemas relacionados con la demanda ambiental -mantenimiento de caudales ecológicos mínimos y niveles de lagos y acuíferos-; la creciente contaminación de los recursos hídricos -a través de las aguas servidas, residuos líquidos industriales, efluentes mineros, contaminación agrícola y de aguas subterráneas entre otros-; y la futura disponibilidad del recurso - a través de la proposición de políticas y regulación de uso y preservación.



## 2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El acceso al agua es, hoy en día, un asunto de creciente interés para los gobiernos del mundo, y en general para toda la población. Y es que el agua se está transformando en un recurso cada vez más escaso, y como tal, la necesidad de acceder a él se hace cada vez más imperiosa.

Basta con saber que, en el mundo, 1.100 millones de personas viven sin agua potable (Rivas y Sapag 2008), sin ir más lejos, son varias las localidades chilenas que deben abastecerse a través de camiones aljibes. O bien, que dos tercios de la población mundial sufrirán de escasez de agua para el año 2025 (Smolan and Erwitte sin año), algo cercano para un país como Chile, donde gran parte del territorio se ve afectado por procesos de desertificación, proceso que avanza continuamente hacia zonas más húmedas.

A nivel mundial, más de 260 cuencas hidrográficas están compartidas por dos o más países (Rivas y Sapag 2008), en Chile, un país estrecho geográficamente hablando, los recursos hídricos compartidos son un tema de interés nacional: mientras compartimos 58 cuencas con países vecinos, nuestra agua (en la forma de derechos de aprovechamiento) le pertenece a diversas empresas de acciones extranjeras.

Los motivos para hacer del recurso hídrico un tema relevante en la toma de decisiones sobran. Los temas concernientes al agua representan potenciales conflictos tanto a nivel de países como a nivel de usuarios, entonces, resulta necesario entender cabalmente cuales son las principales aristas que se deben considerar para proponer soluciones a los actuales problemas de disponibilidad, contaminación y acceso, apuntando a un uso del agua que permita el desarrollo económico del país, sin ir en desmedro de su sociedad y su ambiente.

El proyecto que se presenta apunta, precisamente, a mirar desde una perspectiva holística y académica el tema del agua en Chile, poniendo sobre la mesa los temas más urgentes, pero también aquellos que representan futuros conflictos. Desde una mirada rigurosa, pero con la finalidad de acercar los conceptos más complejos a cualquier lector, en especial a los legisladores, a quienes va dirigida la investigación.

Se proponen una serie de medidas, a corto y largo plazo, que apuntan a dirigir la administración del agua hacia una gestión integrada, abarcando los múltiples factores que le conciernen.



### 3 CUENCAS PILOTO

El análisis del presente informe se realiza en base a ocho cuencas piloto, que permiten tener una visión general de la realidad del país respecto de la gestión y de la disponibilidad de éstos. Las cuencas seleccionadas para este estudio se resumen en la Tabla 1:

**Tabla 1: Cuencas pilotos seleccionadas para el estudio.**

Nombre Cuenca	Región	Superficie (km <sup>2</sup> )	Representatividad en Chile continental (%)
Río Lluta	Arica y Parinacota	2.070	0,28%
Río Loa	Tarapacá, Antofagasta	33.570	4,50%
Río Copiapó	Atacama	18.704	2,50%
Río Limarí	Coquimbo	11.800	1,58%
Río Maipo	Metropolitana	15.304	2,05%
Río Maule	Maule	20.295	2,72%
Río Biobío	Biobío	24.371	3,26%
Río Baker	Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	26.726	3,58%
<b>TOTAL PORCENTAJE DE REPRESENTATIVIDAD EN CHILE CONTINENTAL</b>			<b>20,47%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Estas cuencas fueron seleccionadas y propuestas considerando su representatividad geográfica y situacional, la disponibilidad de información y la existencia de contingencias que las destaquen como zonas de interés público.



## Capítulo 2:

---

# Estado de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Chile y el mundo





## 4 LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

### 4.1 Definición de la GIRH

El concepto del GIRH es ampliamente debatido y actualmente no existe una definición única. En términos teóricos, la GIRH es una propuesta de cómo gestionar las aguas considerando aspectos económicos, sociales y ambientales, con lo cual esta estrategia de gestión podría ser el camino para enfrentar los diferentes problemas que se asocian al agua (Bauer 2004).

Sin embargo, para definir un marco de referencia que permita guiar el trabajo a seguir, se presentan a continuación los elementos que han estado presentes en discusiones conceptuales internacionales.

Definición de la GIRH: "La GIRH es un proceso que promueve el desarrollo y gestión coordinada del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el objetivo de maximizar el bienestar económico y social resultante de una manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales" (GWP 2000).

Esta definición refleja el consenso internacional sobre las normas generales de cómo se debe gestionar el agua considerando un amplio grupo de variables y disciplinas que permitan alcanzar los criterios esenciales del desarrollo sustentable. De esta manera, este modelo de gestión busca conciliar el aprovechamiento de los recursos naturales de la cuenca (crecimiento económico, transformación productiva), manejándolos de manera de evitar conflictos y problemas ambientales (sustentabilidad ambiental) asegurando además la equidad social (Dourojeanni *et al.* 2002).

La GIRH se puede entender como un ideal o un paradigma cuya visión amplia e interdisciplinaria reconoce y trata las interconexiones entre aspectos sociales, técnicos, políticos, económicos y ambientales referentes al agua (Bauer 2004).

Este paradigma global obliga a considerar la integración de al menos cinco aspectos diferentes:

- los intereses de los múltiples objetivos de usos y usuarios del agua, de forma de mitigar los conflictos entre ellos;
- los aspectos del agua que influyen en sus usos y usuarios (cantidad y calidad), y la gestión de la oferta con la gestión de la demanda (oportunidad), en especial cuando el agua es insuficiente para satisfacer todos los requerimientos;
- las diferentes fases del ciclo hidrológico (por ejemplo, entre la gestión del agua superficial, el agua subterránea y la depuración);
- la gestión del agua y la gestión del suelo y otros recursos naturales, de manera de conservar el medioambiente y la biodiversidad;
- la equidad social.



El concepto de GIRH, en contraste al 'tradicional' manejo fragmentado del agua, en su nivel más fundamental se preocupa del manejo de la demanda y de la oferta de agua. Por lo tanto, la integración puede ser considerada bajo dos categorías básicas:

- el sistema natural, con su importancia crítica para la calidad y la disponibilidad del recurso, y
- el sistema humano, el cual determina el uso del recurso, la producción de desechos y la contaminación del recurso.

Históricamente, los administradores de agua han manejado el sistema natural para proveer de agua de acuerdo a las necesidades de los usuarios en función de sus derechos de aprovechamiento. Evidentemente, los usuarios solamente pueden 'demandar' los productos ofrecidos, y en el caso del agua puede ofrecerse con propiedades bien distintas, en términos de calidad y disponibilidad en flujos bajos o en períodos de alta demanda.

## 4.2 Integración del Sistema Natural

Considerar el sistema hídrico como un todo, obliga a reconocer **la integración del manejo del agua dulce y de la zona costera**, reflejando la 'continuidad' existente entre ellas puesto que los sistemas de agua dulce determinan las condiciones en la zona costera, y por lo tanto, la administración de las aguas dulces debiera considerar los requerimientos tanto de las zonas costeras como de los estuarios. Este es un ejemplo del tema "aguas-arriba - aguas-abajo", el cual está recibiendo una atención creciente en todos los países.

Al respecto, en el año 2002, se realizó en Valencia, España, la 8va. Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1991), en donde se hizo referencia a los lineamientos y principios para incorporar las cuestiones concernientes a los humedales en el Manejo Integrado de las Zonas Costeras (MIZC). Una de las principales resoluciones fue "*integrar la conservación y el uso racional de los humedales en el manejo de cuencas hidrográficas*" (COP Convención Ramsar 2002).

**La integración del manejo de la tierra y el agua;** El punto de partida en la gestión del agua es el ciclo hidrológico que transporta el agua entre los sistemas aire, tierra, vegetación, y fuentes de superficie y aguas subterráneas. Por esto los desarrollos vinculados a los usos de la tierra y a la cubierta vegetal, influyen sobre la calidad del agua y su distribución física, y deben ser considerados en el manejo y la planificación global de los recursos hídricos. Otro aspecto es que el agua es un factor clave para la conservación de todos los ecosistemas terrestres y acuáticos, y por lo tanto, la calidad y cantidad de agua en la asignación global de los recursos disponibles, deben ser consideradas. Desde la perspectiva de un sistema natural, la promoción del manejo planificado de las zonas de captación y de uso en las cuencas de los ríos es un reconocimiento de que éstas son unidades de planificación lógicas para la GIRH. La gestión a nivel de cuenca es importante como medio para integrar los temas del uso de la tierra y del agua y de la relación entre cantidad y calidad y entre los intereses de aguas-arriba y aguas-abajo.



**Integración del manejo de las aguas de superficie y subterráneas;** El ciclo hidrológico obliga una integración entre el manejo de las aguas superficiales y subterráneas. La lluvia retenida en la superficie de una zona de captación puede aparecer alternativamente en la superficie y en las aguas subterráneas en su camino aguas abajo. El uso amplio de agroquímicos y contaminantes, provenientes de otras fuentes no puntuales, ya constituyen amenazas significativas sobre la calidad de las aguas subterráneas. Para todos los propósitos prácticos, la contaminación de las aguas subterráneas frecuentemente es irreversible en la escala de tiempo humana, dada la tecnología actual y los costos involucrados en remediarla.

**Integración de la calidad y cantidad en el manejo de recursos de agua;** El deterioro de la calidad del agua reduce su uso potencial por parte de los usuarios, por lo cual debe promoverse que las instituciones encargadas de la gestión tengan las capacidades para integrar aspectos de calidad y cantidad para influir en la forma en que los sistemas humanos degradan el recurso.

**Integración entre los intereses de usuarios aguas-arriba y aguas-abajo;** Un enfoque integrado en la gestión del agua considera identificar los conflictos entre los interesados aguas-arriba y aguas-abajo. Por ejemplo, las 'pérdidas' en el consumo aguas-arriba se transforman en aportes en los flujos de los ríos aguas-abajo. La descarga de contaminantes aguas-arriba degradará la calidad del recurso aguas-abajo. Los cambios en el uso de la tierra aguas-arriba puede alterar la recarga de aguas subterráneas y los flujos estacionales de los ríos. Las medidas de control de inundaciones aguas-arriba, pueden amenazar la vida dependiente de los flujos aguas-abajo. Este tipo de relaciones debe considerarse en el GIRH con un total reconocimiento de las relaciones físicas y sociales que existen en sistemas complejos. Es imperativo un reconocimiento entre la vulnerabilidad de las aguas-abajo y las actividades aguas-arriba.

### 4.3 Integración del Sistema Humano

**Convirtiendo a los recursos hídricos en foco de política pública;** Cuando se llega a analizar las actividades humanas o los sistemas de servicios, virtualmente, todos los aspectos de la integración involucran un conocimiento del sistema natural, su capacidad, vulnerabilidad y sus límites. Dicha integración es una tarea inevitablemente compleja y la integración perfecta no es real (GWP 2000). Esta tarea involucra:

- intentar garantizar que las políticas gubernamentales, las prioridades financieras y la planificación (física, económica y social) consideren las implicancias del desarrollo en los recursos hídricos, riesgos relacionados al agua y al uso del agua;
- influir la toma de decisiones del sector privado para llevar a cabo elecciones tecnológicas, de producción y de consumo basadas en el valor real del agua y la necesidad en el tiempo de sustentar los activos de recursos naturales, y
- proveer foros y mecanismos que garanticen que todos los interesados puedan participar en las decisiones de asignación de recursos de agua, la resolución de conflictos y en la negociación entre las preferencias.

La integración es necesaria a todas las escalas, desde una familia a mercados de producto internacional.



**Integración transectorial en el desarrollo de una política nacional;** El enfoque de la GIRH implica que se deben tomar en cuenta los desarrollos relacionados con el agua en todos los sectores sociales y económicos. Por lo tanto, la política de recursos hídricos debe ser integrada con la política económica nacional, así como con las políticas nacionales sectoriales. Consecuentemente, las políticas económicas y sociales deben tomar en cuenta los impactos sobre la calidad y cantidad del recurso hídrico (por ejemplo, las políticas nacionales de energía). La gestión del agua tiene un impacto sobre la economía y la sociedad a través de varias vías, tales como la migración, el crecimiento de los asentamientos humanos y los cambios en la composición de las industrias. Consecuentemente, el sistema de gestión de los recursos hídricos debe incluir intercambio de información transectorial y procedimientos de coordinación, así como técnicas para la evaluación de proyectos individuales, en particular, con respecto a las implicancias de los recursos hídricos y de la sociedad en general.

**Bases para la realización de políticas integradas;** La política de toma de decisiones transectorial e integrada es extremadamente difícil de llevar a cabo en la práctica, pero existen principios que lo facilitan, tales como:

1. los tomadores de decisión en el uso de la tierra deben estar informados sobre las consecuencias de sus acciones aguas-abajo y los costos y beneficios externos impuestos en el sistema hídrico (por ejemplo, la deforestación o urbanización en las áreas de captación puede alterar los regímenes de flujos de agua y exacerbar riesgos como las inundaciones). Esto no significa que estos costos externos no deberían ocurrir, sino que los tomadores de decisión ponderen estos costos contra los beneficios que surgen de la aplicación de sus políticas o planes;
2. las políticas que incentiven la demanda por agua, incluyendo su uso para eliminar los desechos, debieran desarrollarse con el conocimiento de los costos incrementales totales involucrados, y
3. las políticas que distribuyen efectivamente el agua entre diversos usos, debieran tomar en cuenta los valores relativos de uso, medidos en términos económicos y sociales

**Integración de todos los interesados en la planificación y el proceso de decisión;** La participación de los interesados en la gestión del agua se reconoce universalmente como un elemento clave fundamental para lograr su uso sustentable. Pero normalmente los interesados tienen conflictos de interés y sus objetivos con respecto al manejo de los recursos hídricos pueden diferir sustancialmente. Para tratar estas situaciones, la GIRH debería desarrollar herramientas operacionales para la negociación y la solución de conflictos, así como la evaluación de transacciones entre diferentes objetivos, planes y acciones.

**Integrando el manejo del agua y los desechos;** Sin un manejo coordinado, los desechos, con frecuencia, reducen las disponibilidades de agua, empeoran su calidad e incrementan los costos de su suministro. Los incentivos para la reutilización pueden proveerse a usuarios individuales, pero para que las oportunidades de reutilización sean efectivas, se deben integrar los sistemas políticos, económicos, sociales y administrativos.

Por otra parte, la GIRH plantea la necesidad de reconocer algunos criterios dominantes, concordantes con el paradigma del desarrollo sustentable, que toman en consideración condiciones ambientales, sociales y económicas:

- **Eficiencia económica en el uso del agua:** Dada la agudización de la escasez de agua, la naturaleza vulnerable y finita de ésta y la creciente demanda por este recurso, es que el agua debe ser utilizada con la máxima eficiencia posible.
- **Equidad:** Debe ser universalmente reconocido el derecho básico<sup>1</sup> de todas las personas al acceso al agua de adecuada cantidad y calidad para el sustento del bienestar humano, a la vez que se deben promover las condiciones que favorezcan este acceso.
- **Sustentabilidad ambiental:** El uso actual del recurso debiera ser manejado de manera que no reduzca su rol en la sustentabilidad de la vida, y no comprometa el uso del recurso por futuras generaciones.

Estos criterios esenciales o dominantes en la GIRH debieran desarrollarse y fortalecerse concurrentemente. Estos elementos complementarios incluyen (ver Figura 1):

**Figura 1: Marco General para la GIRH**



Fuente: GWP 2000.

Así entonces la evolución de las políticas públicas sobre recursos hídricos que en el pasado se desarrollaron en el ámbito de las infraestructuras, han experimentado a nivel mundial un giro radical al actual enfoque de GIRH, como un modelo democrático de gestión caracterizado por la multidisciplinariedad, el cual exige una manera diferente de entender la gestión del agua (Bastidas 2006):

<sup>1</sup> Durante la realización del V Foro Mundial del Agua, Turquía, marzo de 2009, el agua como un "derecho humano" fue uno de los temas más conflictivos de la declaración ministerial emanada del foro, ya que ahí este recurso se enfatiza como una "necesidad humana básica", a pesar de las peticiones de varias delegaciones latino americanas, lo que desencadenó en alrededor de 25 países (entre ellos Chile) que no firmaron la declaración.



- requiere pasar de proyectos (lo que se inaugura) a procesos (lo que nunca deja de hacerse –ni de mejorarse-);
- requiere una visión sistémica (necesidad de entender la gestión 'como un todo', atribuyendo más importancia a las relaciones entre los elementos que a estos aisladamente), y
- promover una gestión combinada de la complejidad (fundir las dimensiones social, ambiental y económica), de la susceptibilidad y de la incertidumbre.

#### **4.4 Los Principios de la GIRH**

Los principios generales, enfoques y lineamientos relevantes de la GIRH son numerosos y cada uno de ellos tiene su área apropiada de aplicación. Dichos principios fundamentales son resultado de un proceso de consulta internacional culminado en 1992 en la Conferencia Internacional sobre Agua y Medioambiente de Dublín (GWP 2000). Estos son:

1. El agua dulce es un recurso vulnerable y finito, esencial para mantener la vida, el desarrollo y el medioambiente.
2. El desarrollo y manejo de agua debe estar basado en un enfoque participativo, involucrando a usuarios, planificadores y realizadores de política a todo nivel.
3. La mujer juega un papel central en la provisión, el manejo y la protección del agua.
4. El agua posee un valor económico en todos sus usos competitivos y debiera ser reconocido como un bien económico.

Estos principios han recibido un amplio apoyo por parte de la comunidad política y científica internacional, y fueron incorporados para la generación de recomendaciones en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) en Río de Janeiro en 1992, y luego considerados en las conferencias internacionales de agua en Harare y París y por la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS) (Fuster 2006).



## 5 ESTADO DE SITUACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN CHILE

A partir de la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente de Dublín y de la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992, varios países se propusieron implementar reformas en las legislaciones para modificar los sistemas nacionales de gestión de las aguas guiados por los Principios de Dublín y las propuestas de gestión expresadas como amplio consenso internacional basadas en la GIRH.

Mientras que en algunos países latinoamericanos este proceso ya ha tenido lugar, en otros se proyecta su futura ejecución. A pesar de las diferencias existentes, las reformas presentan algunas características comunes como el anhelo de implementar un sistema de administración que permita una gestión integrada de los recursos hídricos y el pretender utilizar instrumentos económicos y de mercado en la gestión de las aguas para mejorar su uso y asignación (Jouravlev 2001).

### 5.1 Funcionamiento del modelo chileno de gestión de las aguas

La legislación de aguas establecida en Chile con el Código de Aguas de 1981 (ver más detalles en el apartado *Análisis de las normativas legales del agua en Chile y sus reformas*) modificó los criterios de asignación establecidos en legislaciones anteriores, y tuvo como propósito incorporar criterios de mercado en todos los procedimientos de asignación y reasignación de las aguas. Este aspecto del modelo chileno refleja de manera clara el cuarto principio de Dublín puesto que se le asigna al agua un valor económico.

Esta legislación tiene dentro de sus objetivos: "crear derechos sólidos de propiedad, no sobre el agua misma sino sobre el uso de las aguas, y facilitar por todos los medios el funcionamiento ordenado del mercado", debido a que se considera que "el problema del agua va a persistir mientras no se deje funcionar al mercado, para lo cual es fundamental previamente ir al reconocimiento cabal de los derechos de propiedad en el sector y de las reglas del mercado" (Büchi 1993). Se argumenta que el Derecho de Aprovechamiento de Agua, es decir, el uso del mecanismo de mercado, es el sistema que mejor protege la función social y la 'correcta' asignación de los recursos (Peña 2004a).

Así, las principales características orientadoras del Código de Aguas son: la generación de derechos sólidos de aprovechamiento de agua; la creación de mercados de aguas; y la reducción del rol del Estado en esta materia.



## 5.2 La asignación y reasignación del agua

De acuerdo a la ley, para extraer agua de los cauces naturales es necesario ser titular de un Derecho de Aprovechamiento de Agua<sup>2</sup>, el cual debe ser solicitado a la autoridad administrativa del Estado, que corresponde a la Dirección General de Aguas (DGA).

Los criterios de asignación que establece el Código de Aguas señalan que no existen preferencias para asignar el agua a un uso por sobre otro; la DGA está obligada a entregar Derechos de Aprovechamiento de Aguas a quien los solicite, siempre que legalmente sea procedente y que esta solicitud no afecte los derechos de terceros, y en el caso de existir más de una solicitud de aprovechamiento sobre las mismas aguas, ésta se asigna a través de un remate, con lo cual se condiciona al poder económico del solicitante la posibilidad de obtener el beneficio. Sin embargo, se da preferencia a quien ha solicitado el derecho con anterioridad (Peña 2004b).

De acuerdo a estos criterios, no existe restricción económica para acceder a la posesión de un Derecho de Aprovechamiento de Agua, puesto que el costo de la obtención de un derecho es nulo para el interesado.

En la actualidad, las aguas que están en uso en Chile prácticamente no se encuentran influidas por el Código de Aguas de 1981 respecto de su asignación, puesto que en torno al 90% de las aguas entregadas por el Estado a los usuarios se basan en normativas que existían previamente para este propósito (Peña 2004a).

Una vez que una fuente de agua es declarada agotada, es decir, cuando la DGA, en función de estudios hidrológicos, establece que toda el agua existente ha sido asignada, lo que procede para obtener agua desde esa fuente de abastecimiento es la reasignación de Derechos de Aprovechamiento ya existentes. Para reasignar Derechos, el procedimiento se realiza por medio de la compraventa de estos derechos en el mercado. De alguna manera esto implica que se espera que los derechos, que han sido concedidos por diferentes legislaciones desde el siglo XIX en adelante, se movilicen hacia aquellos usos de mayor beneficio económico. Así, una vez que opera el mercado, el modelo de gestión de las aguas establecido en este Código de Aguas asume que la vía de acción del Estado para hacerse cargo de las consideraciones de carácter social para obtener agua sea a través de subsidios explícitos a la demanda (Peña 2004a).

Los Derechos de Aprovechamiento de Agua tienen ciertas propiedades que hacen que este modelo de asignación/reasignación del agua sea único. Entre ellas, cabe destacar libertad plena para la transferencia de los derechos; independencia entre el derecho de aprovechamiento y un uso específico<sup>3</sup>; el derecho asignado a un individuo no puede ser caducado, con lo cual se le da gran fuerza al derecho de propiedad que recae sobre el agua, y además, los derechos de aprovechamiento presentan las mismas características de protección que los derechos de propiedad sobre cualquier otro bien (Peña 2004b).

---

<sup>2</sup> Excepto para el uso de caudales subterráneos que se destinen al uso doméstico y la explotación de cauces que nazcan y mueran dentro del predio del interesado.

<sup>3</sup> Esto es válido para los derechos ya asignados, pues para las nuevas asignaciones, la DGA solicita un proyecto de uso determinado. Este aspecto fue incorporado en recientes modificaciones al Código de Agua (Congreso Nacional 2005), con lo cual esta restricción solo afectará a una fracción muy limitada del total de agua que existe en el país.



El funcionamiento del mercado de aguas es visto de manera muy distinta entre diferentes investigadores, algunos consideran que "ha sido adecuado para producir una transferencia de aguas hacia demandas crecientes y que presentan un alto beneficio social y económico" (Peña 2004a), mientras otros señalan que "hay poca evidencia de que las transacciones de compra y venta de agua sea algo común en Chile" (Bauer 1998, 2005; Fuster 2006).

Sin embargo, hay acuerdo en que en épocas de sequía la transferencia se ha mostrado activa para reubicar el agua hacia usos más rentables. Se reconoce, al mismo tiempo, que esto es válido cuando existe la infraestructura de sistemas de distribución de las aguas flexibles, como es el caso del 'Sistema Paloma', en la cuenca del río Limarí. Este sistema es un "ejemplo de operación de un mercado con una gran actividad y con una alta sensibilidad de precios en función de las condiciones de escasez" (Hearne and Easter 1995, Peña 2004a, Hadjigeorgalis 2004). Sin embargo, la zona de influencia del 'Sistema Paloma' es una cuenca agrícola y es precisamente en el interior de este sector donde las transferencias de agua son muy escasas (Bauer 2004).

### **5.3 La organización de los usuarios**

El agua es administrada por los propios usuarios ya sea de manera individual o agrupados en Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) quienes la distribuyen de acuerdo con los derechos que cada usuario posea.

Cada OUA debe conformar un directorio que será el responsable de hacer cumplir la ley y tomar decisiones respecto de la gestión del agua por cuenta de los usuarios que poseen derechos de aprovechamiento sobre una misma fuente. Y dado que la participación de los usuarios en las elecciones de la directiva de su OUA es directamente proporcional a la cantidad de agua que corresponde a los derechos de aprovechamiento que cada quien posea, resulta fácil que los usuarios con Derechos de Aprovechamiento sobre una mayor cantidad de agua sean quienes estén a cargo de la administración y la toma de decisiones en estas organizaciones.

Las atribuciones de Estado para fiscalizar el funcionamiento de las OUA, o para promover la formación de estas organizaciones, son limitadas. Así, no participa de las decisiones sobre cómo se gestiona el agua ni sobre las transacciones que se realicen y sólo puede actuar en casos de denuncias por problemas de manejos financieros o de distribución de aguas.

Otro aspecto de la administración de las aguas dentro de las cuencas es que esta administración se organiza en 'secciones de ríos' independientes y no a nivel de cuenca. Así, dentro de una cuenca se tiende a una situación de competencia entre distintas secciones y no de integración. Sin embargo, en aquellas zonas del país que se caracterizan por presentar escasez de agua, y más aún, cuando los usos del agua de regadío tienen una productividad económica significativa, las organizaciones de usuarios se han constituido y operado 'razonablemente bien' (Brown 2004, Cristi *et al.* 2000), originando una voluntad que permite que estas organizaciones asuman un rol de gestión más integral del agua en las cuencas hidrográficas, como ocurre en la cuenca del río Limarí.



Sin embargo, esta estructura de organización se ha transformado en una fuente de conflictos entre usuarios de las secciones de un río de la parte alta, media y baja dentro de una cuenca, especialmente cuando los usuarios de una OUA de una sección del río no utilizan toda su agua, creando una falsa disponibilidad para los usuarios aguas abajo, lo que genera conflictos en períodos de escasez hídrica. De hecho, la DGA no necesita tomar en cuenta el interés de una sección del río para conceder derechos a un usuario en otra sección, es decir no considera la disponibilidad de agua del río si no de la sección en cuestión, con el consecuente problema de agotamiento de las aguas.

Por ejemplo, a pesar de presentar condiciones de escasez, cuando existen distintos intereses por el uso del agua, es decir, entre diferentes actividades productivas, las organizaciones de usuarios no logran representar los diferentes intereses de los propietarios de derechos de aprovechamiento, generándose así conflictos por el uso del agua y un creciente agotamiento del recurso, tanto a nivel superficial como subterráneo, como es el caso de la cuenca del río Copiapó.

### **Mesas Regionales del Agua**

Las Mesas Regionales del Agua están lideradas por la Dirección General de Aguas de cada región y presididas por el Gobernador Regional y buscan avanzar hacia un manejo integrado del agua (DGA 2007a), a través de dar una mayor participación a las instancias regionales y otros actores relevantes en las decisiones de política y planificación en el ámbito de los recursos hídricos a nivel de cuencas, y buscan fortalecer, entre otras, la planificación de la infraestructura hidráulica y la capacidad de fiscalización de la explotación del agua. Estas instancias tienen dos objetivos fundamentales. El primero es orientar el quehacer del Ministerio de Obras Públicas (MOP) en todo lo relacionado con el desarrollo y gestión de los recursos hídricos, considerando las presiones e impactos medioambientales y en las personas. En segundo lugar, permite discutir sobre un marco estratégico regional, tendiente al desarrollo sostenible del territorio, considerando los intereses intersectoriales y medioambientales del territorio (DGA 2007b).

Como un ejemplo de lo que puede lograrse a través de las Mesas Regionales del Agua, Rodrigo Weisner, director de la DGA, destaca: "La mesa del agua formada en Copiapó ha permitido restablecer un curso mínimo en el río, gracias a que se han mancomunado esfuerzos por detener las extracciones ilegales" (MOP, 2007). Los participantes públicos y privados de las Mesas de Agua pueden revisarse en el *Anexo 2: Participantes de las Mesas Regionales de Agua*.

## **5.4 Los aspectos sociales y ambientales en el modelo chileno de gestión de las aguas**

En términos teóricos el modelo chileno de mercados de aguas se asocia con un comercio activo de derechos de agua; a una mayor eficiencia del uso del agua y de la asignación de ésta; y en un mayor beneficio social y económico para los sectores más pobres.

Sin embargo, algunos autores reconocen en este modelo algunas carencias como por ejemplo la inexistencia de prioridades entre los diversos usos para el otorgamiento de nuevos derechos; se producen externalidades ambientales que no son consideradas por quienes transfieren derechos de agua debido a la libre transferencia de los mismos; se



observan limitaciones tanto en las funciones y capacidades de las organizaciones de usuarios como instancias de participación, como en su representatividad en el sentido amplio de cuenca ; y, por último, la administración de los recursos hídricos a nivel de secciones o tramos de los ríos y no a nivel del sistema hidrológico del que son parte, implica excluir acciones que, por su naturaleza, puedan afectar al conjunto del sistema (Orrego 2002).

Thobani (1995) señala que la legislación de aguas chilena ha aumentado el valor del agua, favoreciendo a los pequeños agricultores a expensas de otros usuarios. Sin embargo, esta afirmación no es respaldada con datos empíricos.

Rosengrant y Binswager (1994), citados por Bauer (2004), utilizan el modelo chileno para descartar cualquier inquietud sobre posibles problemas de inequidad social en el uso del mercado para la gestión del agua. Para ello argumentan que en aquellas zonas donde los mercados han funcionado activamente, refiriéndose en este caso a la cuenca del río Limarí, las diferencias de riqueza no han significado un beneficio para los grandes usuarios de aguas en detrimento de los pequeños agricultores, sin embargo, Romano y Leporati (2002) y Fuster (2006) señalan que la participación en los mercados de aguas sí estaría limitada para los agricultores pequeños por falta de información sobre el mercado.

Hay algunos autores que han señalado la existencia de algunos problemas de carácter social y ambiental en el funcionamiento del modelo de gestión de las aguas chilenas. De acuerdo a Dourojeanni (1999), la estructura del mercado de aguas chileno observaría un desequilibrio que provoca ciertos efectos negativos, como por ejemplo, el permitir el uso de Derechos de Aguas para ejercer un poder de mercado en mercados de productos y servicios donde el agua es un 'input', aceptando que aquellos actores privados que posean un mayor poder económico puedan beneficiarse de ella afectando a terceros menos poderosos.

Bauer (2004) señala que dentro de los temas que han estado ausentes, tanto en investigación como en la discusión sobre la gestión del agua, son la equidad social, la gestión a nivel de cuencas hidrográficas y la falta de institucionalidad para la resolución de conflictos.

Por otra parte, como el Código de Aguas busca asignar el agua en aquel uso donde haya una mayor rentabilidad económica, considerando como externalidades el valor cultural, ambiental o social que ésta pueda tener, lo que resulta en una distorsión de los beneficios reales de asignar el agua a un uso sobre otro, por tanto, se comparan actividades productivas que no son comparables.

Al analizar los diferentes aspectos señalados como debilidades o carencias de la gestión del agua en Chile por los autores antes mencionados, se hace evidente que los resultados negativos del sistema de gestión del agua en Chile están relacionados con temas que son de interés público creciente solo hace algunos años, por lo cual no fueron considerados al momento de la instauración del sistema de gestión imperante en la actualidad, el cual buscaba una mayor eficiencia productiva. Sin embargo, estos problemas se empiezan a hacer críticos a nivel nacional e internacional, lo que queda evidenciado en el gran número de reuniones internacionales que debaten sobre los temas económicos, sociales y ambientales que no pueden estar ausentes en la gestión de las aguas.



En mayo del 2005 se introdujeron cambios en la legislación relacionados con estos temas, tales como el establecimiento de i) un impuesto por el no uso del agua; y ii) caudales mínimos ecológicos en aquellas cuencas en donde aún existen derechos de aprovechamiento sin asignar. No obstante, no se modificó la ley en lo que respecta al sistema de administración de las aguas y de organización de sus usuarios, por lo cual temas como la gestión a nivel de cuencas, la coordinación de usos múltiples del agua y la gestión conjunta de las aguas superficiales y subterráneas, protección de ecosistemas, entre otros, siguen siendo ejemplos de aspectos deseables en una GIRH que están ausentes en el modelo chileno

Con estos argumentos, se hace innegable que se está frente a un sistema de gestión de las aguas que tiene virtudes y debilidades teóricas para enfrentar problemas sociales, ambientales y económicos. El problema es que no se podría señalar si este sistema garantiza una gestión del agua que maximice el bienestar social de manera equitativa y ambientalmente sustentable como plantea la definición de la GIRH.

## **5.5 Batería de criterios a considerar para el logro de una GIRH.**

Definitivamente la gestión del agua desde la mirada de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos es una labor compleja, no sólo por la dificultad que implica cualquier cambio de sistema de gestión, sino porque plantea una forma de entender el agua y los recursos naturales como parte de un sistema socio ambiental en donde las decisiones que se tomen respecto del recurso tienen un resultado incierto.

Al respecto y entendiendo que la GIRH requiere de la participación de los interesados, se consultó un grupo de profesionales del mundo público y privado vinculado a la gestión del agua en Chile, quienes se refirieron a las dimensiones de la gestión del agua que debieran ser perfeccionadas con el fin de tender hacia una GIRH. Las dimensiones señaladas, que constituyen los criterios a considerar, fueron las siguientes:

- **Institucionalidad** (Consejos de cuenca, Comités de Microcuenca, por nombrar algunos): Se plantea que esta nueva institucionalidad o tipo de organización de cuenca facilitarían la canalización de los intereses y visiones de los actores involucrados en la gestión del agua y el instrumento mediante el cual se llevan a cabo las decisiones dentro de ese territorio, pero claramente la sola creación de estos organismos, mediante decreto o reforma legal, no garantiza su existencia, funcionamiento, permanencia y menos, el éxito de su gestión. Estos deben ser capaces de trabajar y gestionar los recursos hídricos que le competen de forma integrada, a través de una óptica y mirada ecosistémica y que comprometa aquellas capacidades y aptitudes de los territorios correspondientes. Como este tipo de organizaciones posee un carácter más local, el principio de participación es el que se debe potenciar con mayor intensidad a fin de que las decisiones consensuadas a niveles intermedios y locales posean la legitimidad necesaria para que puedan ser llevadas a cabo y no enfrentarse con aquellas impuestas a niveles organizacionales superiores.
- **Participación**: Entendiendo que una gestión del agua bajo el paradigma de la GIRH requiere de una comunidad informada para tener éxito en la implementación de este tipo de acciones, no sólo en la administración del agua, sino que principalmente en la definición de los objetivos de los programas de GIRH en cada cuenca y en la toma de



decisiones, esto último resulta relevante para enfrentar las dificultades que entrega una visión sesgada, que muchas veces podría estar presente en las decisiones de los entes públicos sectoriales y de los agentes productivos usuarios del recurso. En el mismo sentido se plantea relevante fomentar la educación e información de la comunidad en torno al agua, la participación, e incluso la toma de sus decisiones, a través de debates e instancias que reúnan a los distintos actores, tanto públicos como privados de manera democrática.

- **Legislación/Marco jurídico:** La forma en que se quieren gestionar los recursos hídricos debe estar reflejada en marcos jurídicos y que no sean éstos, en base a sus aciertos y fracasos, los que entreguen pequeñas ventanas por las cuales se pueda trabajar en pro de una utilización armónica y sustentable de las aguas. Se deben realizar cambios impulsados mediante un proceso previo de debate e información a fin de integrar los nuevos conceptos, ideas, y paradigmas de la GIRH. Es en este punto donde los legisladores tendrán un rol fundamental para promover los cambios necesarios para la implementación de un nuevo marco jurídico que facilite un nuevo sistema de gestión.
- **Integración aguas superficiales, subterráneas y otras:** Es necesario reconocer la relación existente entre las aguas superficiales y subterráneas y manejarlas integradamente con el objetivo de dar seguridad de abastecimiento y de equilibrio en el largo plazo, sin provocar prejuicios ambientales. En este aspecto, puede no disponerse de toda la información científica-técnica necesaria para tomar decisiones adecuadas, entonces resultaría fundamental basar las acciones en el principio de precaución y minimizar los riesgos de una posible sobreexplotación u otro factor que podría afectar la disponibilidad del recurso.
- **Información:** Es necesario para una gestión adecuada contar con información oportuna y de calidad para fundamentar la toma de decisiones y que estas sean lo más precisas posible. Para ello se debiera desarrollar, con relativa prisa y de manera prioritaria, un sistema de monitoreo y análisis de información que permita modelar y predecir no solo los comportamientos climáticos e hidrológicos, sino además relacionar las dinámicas naturales con las acciones antrópicas de manera de evaluar los efectos de las medidas adoptadas en la gestión.
- **Microcuenca como unidad de gestión:** sería importante considerar como unidad de gestión a la microcuenca, para planificar, manejar o introducir cambios en los sistemas locales (económicos, ambientales y sociales), buscando conciliar los objetivos de producción y protección de los recursos naturales, considerando que a esta escala puede existir mayor probabilidad de coordinación entre los usuarios.

## **5.6 Otros temas de interés en la gestión de los recursos hídricos en Chile.**

A continuación se presenta la síntesis de algunos documentos sobre temas que la Biblioteca del Congreso Nacional consideró de relevancia para ser incluidos dentro de la sistematización de información sobre el estado de la gestión de los recursos hídricos en Chile. En los documentos y fuentes revisadas aparece información sobre acciones concretas conducentes a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, tales como la



Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas, y las Mesas Regionales de Agua.

## **Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas (ENGICH)**

La Estrategia contempla la implementación de tres experiencias piloto, para lo cual fueron elegidas las cuencas de Copiapó, Rapel y Baker. Los criterios generales establecidos para seleccionar estas cuencas son su representatividad a nivel nacional, ya que corresponden a ejemplos de tres macro zonas del país que son distintas entre sí desde el punto de vista geográfico, climático y de usuarios del agua (norte, centro y sur). Además, son cuencas con información disponible, y en las que se estaban desarrollando iniciativas regionales de manejo de cuencas<sup>4</sup>.

De forma específica, en la cuenca del río Baker se origina la necesidad de contar con esta Estrategia, dados los conflictos que se han presentado sobre la concentración de la propiedad de derechos de aprovechamiento para la generación hidroeléctrica, en contraste con otros intereses asociados a ese territorio, como su atractivo turístico y el resguardo de los ecosistemas locales, de casi nula intervención humana, de ahí que la Estrategia debía recoger a ésta como una de sus cuencas pilotos. En el caso de la cuenca del río Rapel, fue seleccionada por estar en una condición más avanzada de organización y de gestión más integrada del recurso, ya que existía previamente una mesa de trabajo sobre temas del agua. Finalmente, la cuenca del Copiapó resultaba interesante ya que se produce una situación crítica de agotamiento y de conflictos entre usos y usuarios del recurso hídrico. Por ello, aparecía como una cuenca ideal para plantear una gestión integrada, razones a las que se suma el hecho de que esta hoya también contaba con una mesa del agua en desarrollo.

## **Glaciares y Antártica**

### **a. Estudios sobre glaciares**

Se revisaron los trabajos de mayor relevancia para el objetivo del proyecto relativos a glaciares, hielos y superficie antártica.

Respecto de los glaciares, se han realizado diferentes tipos de mediciones, como tasas de derretimiento de nieves (Peña *et al.* 1987) y variaciones de la masa de glaciares, también en los Andes centrales (Escobar *et al.* 1995), mediciones de espesor en glaciares del centro-sur (Rivera *et al.* 2002), métodos que han sido revisados por Bamber y Rivera (2007) para analizar sus capacidades. Si bien gracias a estas mediciones algunos glaciares y cuerpos de hielo del país cuentan con información respecto de su estado, todos los estudios revisados coinciden en los datos son escasos, y no permiten realizar conclusiones acabadas sobre el comportamiento de los mismos, lo cual genera preocupación dada la importancia que revisten estas masas de hielos como reserva de agua dulce, y ante la amenaza que experimentan debido a la intervención humana y al Cambio Climático (Vaughan and Spuoge 2002, Larraín 2007). Además de estudios de medición, existen investigaciones que abarcan materias alternativas, como son el trabajo sobre fuentes paleoambientales para estudiar las variaciones climáticas en un amplio rango de escalas espaciales y temporales, a lo largo de los Andes chilenos a través de datos tales como los anillos de árbol (Lara *et al.* 2005), y estudios que

<sup>4</sup> Presentación de Pilar Valenzuela, realizada el año 2008 al Taller de Manejo Integrado de Cuencas, dictado por Rodrigo Fuster para la carrera de Ing. en Recursos Naturales Renovables en la U. de Chile.



abordan el escenario actual de los glaciares de montaña desde la perspectiva de la seguridad ecológica, enfocándose concretamente en el proyecto minero Pascua Lama y las limitaciones del aparato público (Bórquez 2007)

Sobre el método de medición por radar, Rivera *et al.* (2002) realizan estimaciones de espesor de hielo en cinco glaciares a través del método de radio eco sondaje (RES), el que consiste en transmitir una onda electromagnética hacia el interior del glaciar, la que rebota en la base rocosa y es captada por un receptor ubicado en la superficie. Según el tiempo empleado entre la emisión de la señal y su recepción luego del rebote, se determina el espesor del glaciar de acuerdo con ecuaciones que combinan trigonometría y cinemática. El método es similar al sonar utilizado en la navegación. De los métodos utilizados en Chile para estimar balances de masa en glaciares (métodos indirectos: geodésico, gravimetría, y gravimetría combinada con RES), los autores indican que el método de radar es el de mayor precisión, permitiendo un cálculo más confiable y preciso en el volumen equivalente de agua en estado sólido en la cordillera. A la fecha, detallan que se cuenta sólo con un programa exitoso de mediciones directas de balance de masa en Chile, realizado por la DGA en el glaciar Echaurren Norte de la cuenca del río Maipo. Debido a que este tipo de programas son de alto costo, es que se opta por los métodos indirectos de estimación. Los autores recalcan la necesidad de realizar un programa de medición de espesores en glaciares representativos de las distintas cuencas del país para mejorar la evaluación del recurso hídrico, que permita un seguimiento en el tiempo de las variaciones y respuestas glaciales a los cambios climáticos actuales. La Comisión Nacional de Medio Ambiente considera, dentro del programa de acciones del Plan Nacional de Acción en Cambio Climático, un plazo de dos años para establecer una red de monitoreo de glaciares, aunque sin definir el método que se utilizaría<sup>5</sup>.

La información que fue encontrada sobre glaciares en Chile está concentrada en las zonas central (destacándose los estudios en el glaciar Echaurren Norte) y sur del país (especialmente sobre los Campos de Hielo). En cambio, para la zona norte del país prácticamente no se encuentran estudios, estando la información concentrada en los glaciares de la III Región, en el marco del proyecto minero Pascua Lama.

## **b. Política para la Protección y Conservación de Glaciares**

La también llamada Política Nacional de Glaciares fue presentada en abril de 2009 por el Consejo Directivo de la Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA (CONAMA 2009a). Este documento entrega los principales objetivos y lineamientos del Estado en materia de glaciares chilenos. Guía a los organismos del Estado con competencia en la materia, y es una señal para la sociedad de la valoración que se hace de ellos. Reconoce la fragilidad de los glaciares y los valiosos servicios ambientales que otorgan, lo que explica la necesidad de preservación y conservación. El valor ambiental de los glaciares está directamente relacionado con las características físico-naturales.

Hasta el momento, se han identificado 3.100 glaciares, que cubren una superficie de 20.188 km<sup>2</sup> (de los cuales, 15.000 km<sup>2</sup> corresponden a Campos de Hielo Sur y Norte), estimándose que hay una superficie no inventariada de glaciares de 4.700 km<sup>2</sup>. Destaca que la mayoría de los glaciares presentan balances de masa negativos, retrocesos,

---

<sup>5</sup> Presentación realizada por Claudia Ferreiro, de CONAMA, en la Reunión del Comité Asesor del Proyecto de Preparación de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático, realizada en la FAO el 19 de marzo de 2009.



pérdidas de área y pérdidas de espesor. El retroceso y adelgazamiento detectado en los últimos 30 años se ha acelerado y hasta duplicado en los últimos 10 años. La protección oficial a través del Sistema Nacional de Áreas Silvestres protegidas del Estado (SNASPE) se concentra en el sur del país, no estando protegidos glaciares del centro-norte del país.

El objetivo general de la política es: Preservar y conservar los glaciares de Chile.

Sus objetivos específicos son:

1. Conocer y valorar los glaciares chilenos en un contexto y realidad nacional e internacional, mediante la creación de un registro nacional de glaciares y otras prioridades de investigación por definir.
2. Establecer medidas de preservación y conservación de los glaciares chilenos, que aseguren la continuidad de los procesos naturales y productivos que estos sustentan y la generación de servicios ambientales.
3. Establecer tipologías de los glaciares y condiciones de usos permitidos.
4. Diseñar instrumentos y mecanismos institucionales para la implementación de la política nacional de glaciares y asegurar y fortalecer la permanencia de los objetivos a través del tiempo.

El documento define a un glaciar como "toda masa de hielo perenne, formada por acumulación de nieve, cualquiera que sean sus dimensiones y sus formas".

Los Principios de la Política son: Sostenibilidad ambiental, Participación, Transversalidad (coherencia con objetivos y lineamientos de otras políticas sectoriales y nacionales temáticamente relacionadas), Representatividad, Equidad y acceso a los beneficios, Co-Responsabilidad, Prevención (de los conflictos derivados de las distintas visiones e intereses para la gestión de los glaciares), Compromiso (con los acuerdos internacionales suscritos y las orientaciones entregadas por organismos internacionales), y Gradualidad.

Mediante este documento, el Gobierno de Chile establece su posición respecto a la necesidad de proteger y conservar los glaciares de Chile, y entrega indicaciones sobre las principales acciones a realizar para cumplir los objetivos planteados en la misma. Se determina que la DGA y la CONAMA tienen la responsabilidad de velar por el cumplimiento de los objetivos de esta política, consultando y coordinando con otros organismos públicos y privados.

Se elaborará un plan de acción específico para la implementación de esta Política, a partir de los lineamientos estratégicos señalados en la misma. Las acciones a realizar se compilarán en tres modalidades: revisión de los compromisos actuales; Compromisos nuevos; y Compilación y análisis de otras propuestas (procesos de discusión ampliados y participativos, que serán ponderados para su inclusión):

- a) Valoración y conocimiento de los glaciares.
- b) Protección de los glaciares.
- c) Condición de usos permitidos.
- d) Institucionalidad. Las acciones deberán tener nombre, institución responsable, resultado esperado, indicador del resultado, verificación de cumplimiento y plazos de ejecución.



En síntesis, la Política entrega lineamientos generales para la protección de glaciares, pero no especifica las metas ni plazos. Se habla, por ejemplo, de la protección y conservación de los glaciares y de su uso sustentable, pero sin señalar metas o porcentajes de áreas a proteger, o restricción en ciertos tipos de uso.

### c. Acuerdos internacionales sobre la Antártica

La preocupación con el estado de los hielos antárticos abarca más allá de la escala nacional. Respecto a los tratados internacionales que se refieren al continente antártico, los siguientes son los más relevantes en el tema, pues involucran directamente a Chile:

- *Tratado<sup>6</sup> Antártico*, firmado en 1959 en Washington, establece la Antártica como una región de paz y cooperación, y para lidiar con los asuntos relativos a las reclamaciones de soberanía. Su principal propósito es asegurar “por el interés de toda la humanidad, que la Antártica continuará para siempre siendo utilizada para propósitos pacíficos y no se convertirá en objeto de discordia internacional”. El tratado congela las reclamaciones de soberanía que varios países, entre ellos Chile, realizan sobre el territorio. Con excepción de los países reclamantes, y de Nueva Zelanda y Noruega, ningún otro país, ni la Organización de las Naciones Unidas, reconocen estas reclamaciones sobre el territorio Antártico. Chile se encuentra dentro de los países iniciales (países signatarios) que firmaron el documento. El Tratado Antártico es el núcleo de otros acuerdos relacionados, tomados bajo sus términos, los cuales son: *Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente o Protocolo de Madrid*, firmado en 1991 en Madrid; la *Convención para la Conservación de Focas Antárticas (CCFA)*, firmado en Londres en 1972; y la *Convención para la Conservación de Recursos Vivos Marinos Antárticos (CCRVMA)*, de 1980, firmado en Canberra. “Aunque la CCFA y la CCRVMA son acuerdos independientes, contienen disposiciones que representan un compromiso de las Partes con aspectos esenciales del Tratado Antártico, como el artículo IV sobre la situación jurídica de los reclamos territoriales. Sólo las Partes del Tratado Antártico pueden adherirse al Protocolo sobre Protección del Medio Ambiente” (Secretaría del Tratado Antártico -ATS-2008).
- *Protocolo Específico sobre Protección del Medio Ambiente Antártico*, como anexo al *Tratado con Argentina sobre Medio Ambiente*, en el que se comprometen, en el marco del Tratado Antártico, a promover “la conservación de los valores naturales y culturales antárticos, mediante las acciones apropiadas de protección de las áreas designadas, la conservación y restauración de los sitios y monumentos históricos, la observancia de las normas de conducta adoptadas para este fin en el marco del Tratado Antártico y la difusión de los valores intrínsecos de la Antártica” (BCN 2009b).

La preocupación por los temas antárticos crece en la comunidad científica ligada a las modificaciones que pueden ocurrir debido al actual proceso de Cambio Climático. Por ejemplo, el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) concluyó en su Segundo Reporte de Evaluación que no es posible aún estimar la probabilidad del colapso de la Placa de Hielo del Antártico Oeste (WAIS), la que de suceder aumentaría el nivel global del mar en alrededor de cinco metros (Vaughan and Spuoge 2002).

---

<sup>6</sup>Ver Anexo 1: Glosario de términos en acuerdos internacionales



## 6 ANÁLISIS DE LAS NORMATIVAS LEGALES DEL AGUA EN CHILE Y SUS REFORMAS

### 6.1 Evolución histórica del Derecho de Aguas

En América, las primeras instituciones relativas al uso de las aguas se remontan a la época precolombina. Ya en el imperio incaico existían reglas – la *cocha* y la *mita* – sobre turnos para la repartición de las aguas de un cauce común entre varios usuarios. Con la llegada de los conquistadores españoles, éstos comenzaron a aplicar sus propias normas a los territorios anexados, imponiendo consigo una legislación de aguas basada tanto en el Derecho Romano y el Derecho Musulmán. El primero tenía una visión más privatista del derecho a las aguas, mientras que el segundo seguía una inspiración comunitaria, influidos por los contextos geográficos en que cada legislación se desarrollaba.

En Chile, con el nacimiento de la república, paulatinamente se fueron dictando normas criollas, lo que en materia de derecho privado, inclusive el derecho de aguas, se plasmó en el Código Civil de 1856, que entró en vigencia el 1º de enero de 1857, y que permanece vigente hasta la fecha, con diversas modificaciones. Ya hacia fines del siglo 19 comenzó a dictarse una normativa más específica que reglamentó el uso de las aguas en los distintos territorios del país.

Sólo en 1951 se dictó el primer Código de Aguas, cuya vigencia principió el 1º de abril de 1952. Éste se mantuvo sin sufrir modificaciones hasta la dictación de la Ley de Reforma Agraria en 1967, que introdujo numerosas modificaciones en la materia. El texto del Código de Aguas fue sistematizado en 1969 por lo que, pese a corresponder al código de 1967, se le conoció como el código de 1969.

Luego, el gobierno militar introdujo un fuerte enfoque privatista en el derecho de aguas, lo cual se manifestó inicialmente con la dictación del D.L. 2603 de 1979, el cual esbozaba el reconocimiento constitucional de los derechos de aguas que contendría la Constitución de 1980. Estos criterios se plasmaron en un nuevo Código de Aguas, publicado el 29 de octubre de 1981, que actualmente nos rige.

#### 6.1.1 Política de aguas vigente

En la actualidad cobra especial relevancia la titularidad de los derechos de aprovechamiento de aguas, tanto aquellos concedidos por el Estado de conformidad a la ley como los que han sido reconocidos por ésta. Determinar quien tiene el derecho de usar las aguas de acuerdo al Derecho chileno es el punto central de la política de aguas.

El punto de partida de esta construcción jurídica es el dominio de la Nación sobre las aguas, su calidad de “bienes nacionales de uso público”, encontrándose excluidas de la apropiación directa por parte de los particulares. El vínculo de los particulares con las aguas, es decir, su posibilidad de usarlas, pasa por el Estado y depende de éste, en razón de un vínculo público de la Nación con las aguas en calidad de propietaria.



Hoy en día los derechos de aguas se organizan sobre la base de los distintos usos del agua, dando origen a una tipología variada de derechos de aprovechamiento de aguas que los particulares pueden solicitar al Estado o bien que provienen de situaciones consuetudinarias reconocidas por la ley. La autoridad estatal interviene en este sistema para garantizar el acceso de los particulares al uso de las aguas y para regular los conflictos que pueden surgir entre ellos.

## 6.2 El Código de Aguas

El sistema concesional original sobre las aguas fue instaurado con la dictación del D.L. 2.603 de 1979 y el Código de Aguas de 1981, consagrando un sistema de derechos de aguas basados en las siguientes características:

- a. Propiedad privada sobre los derechos de aprovechamiento de aguas, constituida o reconocida de conformidad a la ley, protegida por garantías constitucionales y libremente transferibles.
- b. Libertad absoluta en el uso de las aguas, sin que sea necesario justificar su uso para adquirir o mantener un derecho de aprovechamiento.
- c. Adquisición originaria gratuita y a perpetuidad de los derechos de aguas.
- d. No injerencia del Estado en la transferencia de derechos de aguas.

Durante muchos años dicho sistema se mantuvo vigente sin variaciones, pero las distorsiones producidas en el mercado de los derechos de aguas hizo necesario introducir modificaciones al sistema, primero sectorialmente en materia de concesiones acuícolas, comunidades agrícolas y comunidades indígenas, y posteriormente mediante una reforma al Código de Aguas, tema que analizaremos más adelante.

### 6.2.1 Clasificación de las aguas

El Código de Aguas no define al agua como elemento, pero sí las clasifica en aguas marítimas, terrestres y pluviales. Estas últimas serán marítimas o terrestres según donde se precipiten. Las disposiciones del Código sólo se aplican respecto de las aguas terrestres.

Las aguas terrestres, a su vez, se clasifican en aguas superficiales, que se encuentran naturalmente a la vista, y aguas subterráneas, ocultas en el seno de la tierra. Las aguas superficiales pueden ser aguas corrientes que escurren por cauces naturales o artificiales o aguas detenidas, acumuladas en depósitos naturales o artificiales.

Conjuntamente con la clasificación de las aguas es importante tener presente el concepto de alveo o cauce, el cual corresponde al suelo que las aguas ocupan y desocupan alternativamente en sus creces y bajas periódicas. Los cauces naturales de aguas corrientes son de dominio público, y aquellos de aguas detenidas son de dominio privado, salvo en casos de lagos navegables por buques de más de 100 toneladas. Por otra parte, los cauces artificiales, de aguas corrientes o detenidas, son de dominio privado.



### **6.2.2 El dominio de las aguas y el derecho de aprovechamiento**

Las aguas son bienes nacionales de uso público y sobre ellas se otorga a los particulares un derecho de aprovechamiento, de conformidad a la ley. En otras palabras, sólo el Estado puede ser titular del dominio sobre las aguas en sí, sin perjuicio que sobre dicho dominio se constituya el derecho de aprovechamiento como derecho real que faculta a su titular al uso y goce de las aguas sobre las que recae.

Los derechos de aprovechamiento de aguas se clasifican de acuerdo al uso que se le da a las aguas y según la forma en que se ejerce. De acuerdo al uso de las aguas se clasifican en derechos consuntivos o no consuntivos. Según la forma en que se ejerce el derecho, se clasifican en derechos de ejercicio permanente o eventual y de ejercicio continuo, discontinuo o alternado.

Los derechos de aprovechamiento consuntivos son aquellos que facultan a su titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad, por ejemplo, el riego agrícola. Por su parte, los derechos de aprovechamiento no consuntivos permiten emplear el agua sin consumirla, como es el caso de la operación de una turbina para generar electricidad, debiendo restituirla en igual cantidad y calidad en la forma que determine el acto de adquisición o constitución del derecho.

Los derechos de aprovechamiento de ejercicio permanente permiten a su titular usar las aguas sin estar sujeto a ninguna condición desde fuentes de abastecimiento no agotadas, es decir, con suficiente caudal para satisfacer todos los derechos de aguas de ejercicio permanente constituidos sobre ella. Por el contrario, los derechos de aprovechamiento de aguas de ejercicio eventual son aquellos que permiten usar las aguas en aquellas épocas en que el caudal de la fuente tenga un sobrante, luego de haberse satisfecho todos los derechos de aprovechamiento de ejercicio permanente y también aquellos de ejercicio eventual constituidos con anterioridad.

Los derechos de aprovechamiento de ejercicio continuo son aquellos que permiten usar el agua las 24 horas del día. A su vez, los derechos de aprovechamiento de ejercicio discontinuo sólo permiten dicho uso durante determinados períodos de tiempo. Finalmente, los derechos de aprovechamiento de ejercicio alternado son aquellos en que el uso de las aguas se distribuye por turnos entre dos o más personas.

### **6.2.3 Generación, conservación y pérdida del derecho de aprovechamiento**

El Código de Aguas trata esta materia de manera bastante escueta, por lo cual se remite de manera supletoria al Código Civil respecto de la transferencia, transmisión, adquisición y pérdida de los derechos de aprovechamiento. Se puede señalar de manera introductoria que los derechos de aprovechamiento de aguas nacen y pueden ser adquiridos por los titulares de manera originaria o derivativa. En el primer caso el derecho nace sin que haya una relación de causa a efecto con el antecesor y es su primer titular la persona que lo crea. En el segundo, hay un traspaso del derecho de aprovechamiento de un titular a su sucesor en el dominio.

El primer y principal modo de adquirir derechos de aguas de carácter originarios es el acto de la autoridad, mediante una resolución dictada por la Dirección General de Aguas, previa solicitud del interesado. Dicha resolución se reduce a escritura pública y se



inscribe en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces respectivo. Aunque es de escasa aplicación, existe además una norma especial que permite al Presidente de la República constituir directamente un derecho de aprovechamiento en caso de circunstancias excepcionales y de interés general.

En segundo lugar, la ley también constituye un modo de adquirir derechos de aprovechamiento de aguas de manera originaria. El Código de Aguas y algunas legislaciones sectoriales otorgan derechos de aguas por el solo ministerio de la ley, como el en el caso de las aguas que nacen, corren y mueren en un mismo predio, cuyos derechos de aprovechamiento pertenecen al propietario del predio en cuestión. Otro caso lo constituyen los derechos de aprovechamiento sobre lagos menores no navegables por buques de más de 100 toneladas y que estén íntegramente situados dentro de una propiedad, cuyos derechos de aprovechamiento también pertenecen al propietario del terreno.

El último modo de adquirir derechos de aprovechamiento de aguas de manera originaria es la prescripción adquisitiva, esto es por haberse poseído durante cierto lapso de tiempo y concurriendo los demás requisitos legales.

Respecto de los modos de adquirir derechos de aprovechamiento de aguas de carácter derivativo, el principal es la tradición, ya que es el que más se utiliza. El Código de Aguas exige que el título traslativo o antecedente jurídico respecto de derechos de aguas conste por escritura pública, cuya tradición se materializa mediante la competente inscripción en el Registro de Propiedad de Aguas del Conservador de Bienes Raíces competente.

El otro modo de adquirir derivativo de un derecho de aprovechamiento de aguas es la sucesión por causa de muerte, situación reglada completamente por el Código Civil, lo que implica que la transmisión de los derechos de aguas se materializa con la delación de la herencia al momento del fallecimiento del causante. Sin perjuicio de ello, el Código de Aguas sí obliga a practicar las inscripciones de la posesión efectiva y de herencia para efectos de poder disponer de dichos derechos de aguas.

Los derechos de aprovechamiento de aguas, una vez adquiridos por su titular de manera originaria o derivativa, son perpetuos y gratuitos, es decir, no tienen fecha de término, sin perjuicio que su titular sí pueda cambiar, y no se debe pagar por mantenerlo en el patrimonio. Sin embargo dicha regla general tiene algunas excepciones.

En primer lugar, luego de la última modificación al Código de Aguas, los derechos de aprovechamiento de aguas son renunciables, caso en el cual desaparece el derecho constituido. Esta facultad tiene como restricción el no perjudicar a terceros, como por ejemplo quien renuncia a sus derechos en perjuicio de sus acreedores.

Por otra parte, también producto de la última modificación al Código de Aguas, los derechos de aguas que no son utilizados efectivamente por sus titulares pagan una patente, la que se va haciendo más gravosa a medida que pasa el tiempo y se mantiene el no uso de las aguas.



#### **6.2.4 Aguas subterráneas: condición jurídica y formas legales de acceso a ellas**

Las aguas subterráneas, dada su naturaleza, tienen un tratamiento diferenciado en el Código de Aguas. Ya que se encuentran ocultas en el seno de la tierra, para su aprovechamiento se requiere previamente su ubicación y luego su alumbramiento. Por ello el Código establece dos tipos de procedimientos: la exploración y la explotación de aguas subterráneas.

En la exploración, el interesado solicita a la Dirección General de Aguas la autorización para desarrollar labores de búsqueda de aguas subterráneas en un área geográfica delimitada. Una vez concedida la autorización, con los requisitos legales, puede alumbrar las aguas que encuentre para determinar su caudal. Durante la vigencia de su autorización gozará de preferencia para la constitución de derechos de aprovechamiento sobre las aguas alumbradas.

La explotación de aguas subterráneas significa el otorgamiento de derechos de aprovechamiento sobre ellas, captadas a través de un pozo u obra de captación análoga, a la cual se le decretará un área de protección circundante en la que se prohibirá la instalación de obras similares. Sin perjuicio de lo anterior, si la captación de aguas subterráneas que realice un titular causa perjuicio en un tercero, la Dirección General de Aguas podrá reducir proporcionalmente el ejercicio de dichos derechos para que sean ejercidos en iguales condiciones.

Como excepción a lo señalado, el Código de Aguas contempla la facultad de cualquier persona para cavar pozos en suelos propios para bebida y usos domésticos. Otra excepción la constituye el derecho de aprovechamiento del minero sobre las aguas que halle en sus pertenencias mientras conserve la propiedad de éstas y en la medida necesaria para sus labores.

#### **6.2.5 El Registro de Propiedad de Aguas y el Catastro Público de Aguas**

Existen dos registros relativos a derechos de aprovechamiento de aguas, uno con el objetivo de realizar la tradición y mantener la historia fidedigna de la propiedad de los derechos de aguas y otro cuyo objeto es realizar un inventario del recurso. El primero lo constituye el Registro de Aguas del Conservador de Bienes Raíces y el segundo, el Catastro Público de Aguas a cargo de la Dirección General de Aguas.

El Registro de Aguas opera de manera similar al Registro de Propiedad que llevan a su cargo los mismos Conservadores de Bienes Raíces y las normas relativas a éste son supletorias respecto de lo no regulado expresamente por el Código de Aguas. En este registro se inscriben los títulos traslativos de derechos de aguas (por ejemplo, escrituras de compraventa) así como también otros documentos relativos a la determinación de la propiedad o calidad de un derecho de aprovechamiento, tales como las escrituras públicas de resoluciones de constitución de derechos de aprovechamiento, sentencias judiciales que reconozcan la existencia de un derecho de aprovechamiento, los instrumentos constitutivos o modificatorios de una organización de usuarios, entre otros.

El Registro de Aguas competente es aquel a cargo del Conservador de Bienes Raíces cuya jurisdicción abarca la comuna donde se ubica la obra de captación del derecho de aprovechamiento de que se trate. El Conservador, al practicar la inscripción originaria de



un derecho de aguas, deberá anotar como datos mínimos el nombre del titular, la individualización de la obra de captación, el nombre de la fuente, la referencia a los títulos de la organización de usuarios y la forma como las aguas se dividen entre éstos.

Por su parte, la Dirección General de Aguas lleva un registro denominado catastro Público de Aguas, en el cual se consignan todos los datos, actos y antecedentes que digan relación con el recurso, con las obras de desarrollo del mismo, con los derechos de aprovechamiento, con los derechos reales constituidos sobre éstos y con las obras construidas para ejercerlos. El Catastro Público de Aguas está constituido por el Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de Aguas y por el Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de Agua no inscritos en los Registros de Agua de los Conservadores de Bienes Raíces susceptibles de regularización. En todo caso debe tenerse presente que las inscripciones y registros en el Catastro Público de Aguas en caso alguno acreditarán posesión inscrita ni dominio sobre los derechos de aprovechamiento de aguas o de los derechos reales constituidos sobre ellos, circunstancia que sólo la certifica el Registro de Aguas.

### **6.2.6 Procedimientos administrativos y judiciales**

El Código de Aguas contempla un procedimiento administrativo común respecto de toda materia relacionada con los derechos de aprovechamiento de aguas, el cual se inicia con la presentación de la solicitud o requerimiento respectivo ante la Dirección General de Aguas o ante la Gobernación respectiva si dicho servicio no tuviese oficinas en el lugar. Esta solicitud será notificada a los terceros mediante avisos en el Diario Oficial y diarios locales y nacionales, además de avisos radiales. Si se presenta alguna oposición a la solicitud o bien transcurre el plazo para hacerlo sin que ello ocurra, la Dirección General de Aguas debe resolver el requerimiento mediante una resolución, la cual es recurrible ante el superior jerárquico y también reclamable ante los tribunales de justicia.

Este procedimiento también se aplica respecto de las solicitudes de constitución de derechos de aprovechamiento, excepto si dentro de los seis meses siguientes a la solicitud inicial se presentan otras solicitudes sobre las mismas aguas y no existe recurso suficiente para satisfacerlas todas, la Dirección General de Aguas convoca a un remate para adjudicar, al mejor postor, los derechos de aguas solicitados. En el evento que no se presenten otras solicitudes, la autoridad igualmente podrá limitar los derechos de aprovechamiento que otorgue de acuerdo al uso que se pretende dar a las aguas según el contenido de la solicitud. La resolución que dicta la Dirección General de Aguas se debe reducir a escritura pública y luego inscribir en el Registro de Aguas del Conservador de Bienes Raíces competente.

Respecto de la protección de los derechos de aprovechamiento de aguas, el Código de Aguas establece diversas acciones posesorias que sus titulares pueden ejercer ante los tribunales de justicia para asegurar el ejercicio tranquilo e ininterrumpido de un derecho de aprovechamiento. El procedimiento aplicable para el ejercicio de estas acciones es el mismo establecido para las acciones posesorias civiles. Para todas las controversias de aguas que no tengan señalado un procedimiento especial, se aplica el procedimiento sumario establecido en el Código de Procedimiento Civil.

Existe además la figura del amparo judicial como procedimiento especial para proteger al titular de un derecho de aprovechamiento o quien goce de la presunción de su



titularidad, frente a cualquier amenaza por hecho u obra de autoridad o de un tercero que afecte su ejercicio. El objetivo de esta acción es restablecer al afectado al estado anterior a los hechos u obras que han motivado su intervención. Luego de un procedimiento sumarísimo, el juez debe dictar una resolución acogiendo el amparo, en cuyo caso ordenará las medidas que estime pertinentes, o bien lo rechazará.

### **6.2.7 Situaciones transitorias del Código de Aguas**

Existen en la legislación de aguas derechos de aprovechamiento que no provienen de un acto de autoridad sino que han sido reconocidos por la Constitución y la ley, pero que requieren de un mecanismo para formalizarlos y conocer sus características esenciales. A este respecto existen tres situaciones de regularización en el Código de Aguas tratadas en sus disposiciones transitorias.

El primer caso se refiere a derechos de aprovechamiento inscritos originalmente en el Registro de Aguas, pero que en posteriores transferencias o transmisiones no lo hubieran sido, habiéndose perdido la historia de la propiedad respecto del actual titular. Esta situación puede regularizarse mediante la inscripción en el Registro de Aguas de los títulos desde su actual dueño hasta llegar a la última inscripción de la cual proceden. En caso que ello no sea factible, se podrá solicitar al juez que ordene la inscripción, teniendo a la vista los antecedentes que acreditan la continuidad en la posesión del derecho de aguas.

Un segundo caso lo constituye la regularización de derechos inscritos que han sido utilizados durante cinco años a lo menos por una persona distinta a su titular, constituyendo un caso de prescripción adquisitiva, así como la inscripción de derechos de aprovechamiento nunca inscritos con anterioridad. La solicitud en tal sentido se somete al procedimiento administrativo común del Código de Aguas, luego de lo cual se remiten los antecedentes al Juzgado de Letras competente para que se resuelva la solicitud de acuerdo al procedimiento sumario.

El último caso de relevancia lo constituye el procedimiento para determinar e inscribir derechos de aprovechamiento de aguas que provengan de predios expropiados mediante las leyes de reforma agraria. Dicha situación es resuelta por resolución del Servicio Agrícola y Ganadero, la cual es reclamable ante el Juez de Letras competente.

## **6.3 El mercado de las aguas en Chile**

La comercialización de derechos de aguas ha ido adquiriendo mayor relevancia en la vida económica del país, en la medida que el recurso se vuelve más escaso, constituyendo el mercado una herramienta necesaria de asignación de recursos. En la gran mayoría de los países desarrollados la asignación de los recursos hídricos están a cargo de un sistema público, en forma gratuita o muy subsidiada. El establecimiento de derechos de aguas comercializables y el desarrollo de un mercado de derechos de aguas es una manera de determinar los costos de oportunidad del uso de las aguas.

La liberalización del mercado de las aguas en Chile favoreció un uso más eficiente de las aguas y la diversificación de los cultivos, sin embargo, produjo también una serie de problemas que se fueron manifestando con el tiempo, principalmente respecto de la



equidad en el otorgamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas y sus externalidades. Lo anterior motivó la modificación del Código de Aguas, aumentando las facultades de intervención de los poderes públicos.

### 6.3.1 Transacciones en el mercado de los derechos de aguas

La comercialización de los derechos de aguas es un proceso complejo, donde influyen diversos factores, entre los que se pueden mencionar los siguientes:

- Las características de las partes contratantes
- La disponibilidad geográfica de aguas
- La legitimidad del derecho negociado
- El volumen de aguas transado
- La situación regional de la economía
- El estatuto legal de los recursos hídricos
- La infraestructura disponible para trasladar un derecho
- El impacto en el medio ambiente

Sin perjuicio de la liberalización del mercado de las aguas en Chile, las transacciones de derechos de aguas en general son más bien escasas, lo que no quiere decir que no sean relevantes en términos de impacto. Hay diversos factores que determinan en cada sector el mayor o menor número de operaciones en el mercado de derechos de aguas, tales como:

- a. El costo de la transacción, tanto directo como indirecto, en la medida que es más elevado desincentiva este tipo de operaciones.
- b. El esquema inicial de la propiedad sobre los derechos de aguas, la cual va a ser modificada a través de transacciones en el mercado de derechos de aguas sólo en la medida que las circunstancias lo justifiquen.
- c. La disponibilidad de recursos hídricos, la cual al disminuir hace aumentar el número de transacciones sobre un recurso más escaso.
- d. La infraestructura existente, que puede encarecer el costo de una transacción de derechos de aguas o bien hacerla técnicamente inviable.
- e. Participación de las organizaciones de usuarios, las que pueden facilitar el acceso a la información necesaria para las transacciones en el mercado de derechos de aguas.
- f. Ventajas del arrendamiento de aguas, transacción que es la más frecuente en este mercado, producto de su bajo precio y flexibilidad durante las distintas épocas del año y que a veces ni siquiera involucran el pago de dinero.

Si bien el número de transacciones que se observan en el mercado de aguas no son tan abundantes, en comparación con el total de derechos de aprovechamiento constituidos y reconocidos, sí se puede señalar que la existencia de este mercado de aguas ha favorecido la diversificación de la producción agrícola en aquellas zonas donde la disponibilidad del recurso es más limitada. Los agricultores y productores han contado con la garantía de poder acceder a derechos de aguas a través del mercado en aquellas épocas en que su provisión escasea, asegurando el riego para plantaciones de mayor valor.



### **6.3.2 Transacciones de derechos de aguas y eficacia**

En una economía de mercado que opera bajo la norma de libre comercio, el cambio en los precios internacionales de los productos agrícolas motiva las transacciones de derechos de aguas desde titulares que requieren grandes volúmenes de agua para regar cultivos poco productivos hacia quienes desean cultivar productos de alto valor con un uso eficiente del recurso hídrico. Los vendedores de aguas pueden introducir técnicas simples de riego que aumenten su eficacia y les permita negociar el sobrante, generándose un capital adicional para introducir otras mejoras en sus cultivos.

La validación del esquema de propiedad privada sobre los derechos de aprovechamiento de aguas en Chile, unido a un apoyo sistemático a las diversas organizaciones de usuarios, ha incentivado al sector privado a financiar obras de infraestructura de riego de gran envergadura, conjuntamente con los usuarios de las aguas. Además, los titulares de derechos de aprovechamiento los utilizan como garantía de préstamos otorgados por instituciones financieras, pudiendo realizarlo con total flexibilidad en el sentido de poder afectar sólo una parte de dichos derechos, dejando libre de gravamen el resto.

## **6.4 Las modificaciones al Código de Aguas**

Debido a las características naturales de las aguas, sumado a la heterogeneidad de la geografía del país, el funcionamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas en un esquema de mercado libre generó diversos problemas. Éstos decían relación principalmente con la protección del medio ambiente, la equidad en el acceso a los recursos hídricos y el acaparamiento de derechos por parte de especuladores.

### **6.4.1 Antecedentes de la Ley 20.017**

Producto de las deficiencias del Código de Aguas de 1981, en 1992 se envió un proyecto de ley al Congreso que lo modificaba sustancialmente, condicionando la vigencia del derecho de aprovechamiento al uso efectivo de las aguas, vinculando el otorgamiento del derecho de aguas al uso para el cual se solicita y estableciendo una administración superior para las cuencas hidrográficas. El proyecto paso 12 años en tramitación en el Parlamento, durante la cual se le introdujeron modificaciones esenciales, que morigeraron la transformación al régimen de aguas propuesto inicialmente.

Concluyendo el proceso legislativo, en el año 2005 se promulgó y publicó la Ley Nº 20.017, que modificó el Código de Aguas respecto del procedimiento para otorgar derechos de aprovechamiento de aguas, estableció el pago de una patente por el no uso de las aguas y estableció un caudal ecológico mínimo para las fuentes superficiales. A continuación analizaremos en detalle cada uno de estos puntos.

### **6.4.2 Otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas**

Bajo el nuevo procedimiento aprobado, frente a una solicitud de un derecho de aprovechamiento sobre una fuente en particular, se abre un plazo de seis meses para que otros interesados puedan presentar una solicitud sobre esa misma fuente. Si no hay



disponibilidad para ambas solicitudes, se efectúa un remate para adjudicar al mejor postor, los derechos de aguas sobre el caudal disponible. Este procedimiento era similar a lo que existía anteriormente, pero la modificación está en la ampliación del plazo para la presentación de solicitudes de 30 días a 6 meses, así como también su aplicación a solicitudes de constitución de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas.

Con la modificación aprobada, actualmente toda solicitud de derecho de aprovechamiento debe indicar el uso que se dará a las aguas. De acuerdo a dicho antecedente, la Dirección General de Aguas podrá limitar el derecho que otorgue si no existe concordancia entre la cantidad de agua solicitada y el uso que se le dará. Para dichos efectos se establece una vinculación, mediante una tabla, entre usos del agua y el caudal necesario para ello. En todo caso, el uso que se invoque en la solicitud inicial no será impedimento para que con posterioridad se utilicen las aguas en un uso distinto.

### **6.4.3 Pago de patente por no uso de las aguas**

Si bien la propuesta inicial contemplaba la caducidad de un derecho de aprovechamiento por su no uso durante un período de cinco años, finalmente se aprobó el pago de una patente respecto de derechos de aprovechamiento de aguas que no sean utilizados efectivamente. Esto tiene por objeto desincentivar la adquisición de derechos de aguas con fines meramente especulativos, estableciendo un costo económico para la detentación de derechos de aprovechamiento de aguas sin destinación a alguna actividad determinada.

Este régimen general acepta algunas excepciones: derechos de aguas de caudal mínimo, aquellos constituidos en zonas donde sí existe competencia en el mercado de aguas según el Tribunal de Libre Competencia y los derechos de aprovechamiento de aguas de las empresas sanitarias que están comprometidos para su plan de desarrollo. En el caso de no pago de la patente, se puede rematar el derecho de aprovechamiento moroso, el cual en el caso de ser adjudicado a una entidad fiscal, ésta se encuentra obligada a renunciarlo.

### **6.4.4 Determinación de un caudal ecológico mínimo**

La Dirección General de Aguas debe definir un caudal mínimo en cada fuente necesario para mantener el entorno ambiental, el cual no puede exceder del 20% del caudal medio anual. Sin perjuicio de lo anterior, el Presidente de la República, previo informe de la autoridad ambiental, podrá determinar un caudal ecológico mínimo de hasta un 40% de caudal medio, sin que se puedan afectar derechos ya constituidos.



## **7 SISTEMATIZACIÓN DE DOCUMENTOS RELACIONADOS CON LA GIRH**

### **7.1 Metodología**

El acceso a la información es trascendental para tomar decisiones asertivas, así mismo, contextualizar los conocimientos respecto a un tema y contar con aquellas investigaciones que den luces sobre el estado del arte pueden ser de gran utilidad para no repetir errores ya cometidos o bien replicar aquellas experiencias exitosas. Lamentablemente, las nuevas tecnologías, además de acercar la información al usuario común, también generan grandes cantidades de información irrelevante, inútil o imprecisa, la que muchas veces, para un usuario inexperto o no familiarizado con el tema que investiga, puede desembocar en la revisión de textos de dudosa procedencia.

Es por esto que en este estudio se optó por sistematizar una serie de documentos relacionados con la GIRH, desde cualquiera de sus variadas aristas y miradas, para generar una herramienta que permita a cualquier usuario consultar documentos confiables relacionados con este tema, entregando información bibliográfica (año, autor, país, datos de publicación, institución u organización) un vínculo para acceder a él vía web (o bien su ubicación física en bibliotecas, centros de documentación, u otros) e información general sobre su contenido (tabla de contenidos, resumen, objetivos principales).

La aparición y desarrollo del concepto de sistematización ha estado ligado al desarrollo del método científico (Programa Especial para la Seguridad Alimentaria -PESA- en Centroamérica 2004), y representa una manera de contar con información ordenada y homogénea, que permita el análisis de los resultados encontrados (González 2009). Existen dos tipos de sistematización: de experiencias y de información o datos (PESA en Centroamérica 2004). Ésta última es la realizada en el marco del presente estudio.

A través de esta metodología se ordenaron y clasificaron documentos encontrados en fuentes de información secundaria (Global Water Partnership, Banco Mundial, CONAMA, Biblioteca del Congreso Nacional, Centro de Estudios Científicos, entre muchos más) avaladas por la comunidad científica y otros sugeridos por diferentes expertos, que tuvieran relación con la GIRH o bien que fuesen de interés de la Biblioteca del Congreso Nacional y de parlamentarios (estudios, libros, tesis, artículos, por nombrar algunos). Toda esta información fue sistematizada a través de la elaboración de una base de datos, en la que se ordenaron y clasificaron los documentos bajo una serie de temas y sub temas, de manera tal de facilitar el acceso y búsqueda de diferentes documentos según el interés específico que el usuario determine. En este último informe, también se incluyen los documentos utilizados como referencias bibliográficas en el transcurso de la investigación.

La gran ventaja de usar una base de datos como la que se presenta, es la posibilidad de actualización constante, siendo una herramienta dinámica que puede seguir incluyendo los documentos que el usuario estime conveniente, según sus propios intereses y necesidades, así como se pueden incluir nuevas categorías o información de los textos a medida que se requiera.

## 7.2 Base de datos

Los temas y sub temas determinados para categorizar cada documento se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2: Menú de temas y sub temas usados para la clasificación de documentos de la sistematización.**

TEMA	SUB TEMAS
1. Gestión Integrada de Recursos Hídricos en el contexto global	a. Dimensión Social
	b. Dimensión Económica
	c. Dimensión Ambiental
	d. Dimensión Productiva
	e. Institucionalidad
	f. Experiencias Internacionales
	g. Políticas Públicas
	h. Manejo de datos e información
2. Gestión Integrada de Recursos Hídricos en el contexto nacional	a. Diagnóstico
	b. Propuesta
	c. Resultados
3. Acuerdos Internacionales	a. Ratificados por Chile
	b. No ratificados por Chile
	c. Sin información
4. Otros temas de interés	a. Glaciares
	b. Antártica
	c. Otros estudios

Fuente: Elaboración propia.

Al mismo tiempo, de cada documento sistematizado se recabó información relevante (información bibliográfica, ubicación física o digital y de contenido), para facilitar su búsqueda en otras fuentes y para generar una primera aproximación al contenido sin necesidad de revisar el documento por completo. La Tabla 3 resume la información recopilada para cada documento.

**Tabla 3: Información recopilada en la base de datos para la identificación de cada documento.**

	Información	Detalle
Información bibliográfica	Año	Año de publicación
	Autor	Autor(es) de la publicación
	País	País de origen
	Datos de publicación	Información necesaria para citas
	Institución u organización	Institución(es) u organización(es) que respaldan la publicación
Localización	Ubicación física o digital	Celda que incluye un vínculo al sitio web donde se puede encontrar la versión digital del texto, o bien la ubicación física donde se puede consultar.
Información de contenido	Tabla de contenidos	Títulos principales incluidos en el documento
	Resumen	Síntesis del documento, se redactó sólo en el caso de no existir uno hecho por los autores.
	Objetivos	Se identifica el objetivo general del texto y los específicos si estuviesen declarados.

Fuente: Elaboración propia.



La base de datos generada<sup>7</sup>, está diseñada para que cualquier usuario pueda encontrar un documento de interés en el tema de la GIRH.

Existen dos maneras de consultar la planilla:

1. Se puede revisar uno a uno los documentos que se encuentran en ella.
2. Se puede optimizar la búsqueda utilizando los filtros de los encabezados, seleccionando aquellos temas y sub temas (Ver Tabla 3 con menú de temas y sub temas) que se adapten mejor a las necesidades, o bien seleccionando aquellos años o países donde quisiera focalizar la indagación.

La Figura 2 muestra una vista del encabezado de la base de datos, con la explicación del objetivo de cada celda o de su utilidad. Además, se explica el cómo usar los filtros de los campos de temas y sub temas.

---

<sup>7</sup> Se adjunta planilla Excel en formato digital.

**Figura 2: Explicación de los campos de la base de datos y ejemplificación de su uso.**

En el filtro de esta celda se debe seleccionar el número del tema que se desea buscar (ver menú de temas).

Después de haber seleccionado el tema, se debe seleccionar, en esta celda, la letra del sub tema que se desea buscar (ver menú de sub temas).

Celda que incluye un link al sitio web donde se puede encontrar la versión digital del texto (de existir), o bien su ubicación física.

Síntesis del documento, se redactó sólo en el caso de no existir uno hecho por los autores.

Se identifica el objetivo general del texto y los específicos si estuviesen declarados.

**Tema (1, 2, 3, 4)** **Sub Temas a b c d e f g h** **Título** **Año** **Autor** **País** **Datos de publicación** **Institución u organización** **Ubicación física v/o digital** **Tabla de contenidos** **Resúmen** **Objetivos**

Ordenar de menor a mayor  
Ordenar de mayor a menor  
Ordenar por color  
Borrar filtro de "Tema (1, 2, 3, 4)"  
Filtrar por color  
Filtros de número

(Seleccionar todo)  
 1  
 2  
 3  
 4  
 (Vacías)

Aceptar Cancelar

Ordenar de A a Z  
Ordenar de Z a A  
Ordenar por color  
Borrar filtro de "g"  
Filtrar por color  
Filtros de texto

(Seleccionar todo)  
 g  
 (Vacías)

Aceptar Cancelar

Por ejemplo, para buscar todos aquellos documentos donde se analicen políticas públicas en el marco de la GIRH, usted debe seleccionar en el filtro del encabezado "Tema" todas aquellas celdas que contengan el tópico de "Gestión Integrada de Recursos Hídricos en el contexto global" designadas con el número 1 (ver menú de temas), y en el filtro de la cabecera "Sub tema" deberá seleccionar todas aquellas celdas correspondientes a "Políticas Públicas", designado con la letra g (ver menú de sub temas).

A través de estos íconos se puede acceder al menú de los filtros de cualquier celda del encabezado.

**IMPORTANTE: Para comenzar una nueva búsqueda se deben eliminar todas las selecciones de los filtros que se hayan hecho previamente.**

Fuente: Elaboración propia.



## **8 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES EN GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS**

### **8.1 Introducción**

En este capítulo se exponen las experiencias de Brasil, Colombia, México y Sudáfrica en relación a la implementación de modelos de gestión de las aguas tendientes a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Se describe y analiza principalmente a la institucionalidad existente para la gestión del agua a nivel de cuenca en cada uno de estos países. Probablemente uno de los países de la región que más ha utilizado este enfoque en sus inicios, bajo el nombre de "comisiones de cuencas", ha sido México, donde muchas actividades de desarrollo regional fueron realizadas a nivel de cuencas (Chávez *et al.*, 2000).

Muchas veces la gestión de los recursos hídricos se interpreta sencillamente como un elemento más del mecanismo institucional para la gestión del medio ambiente. Esto ha llevado a muchos a reclamar que se haya perdido de vista el carácter "único" del agua y el papel primordial que juega en la sustentabilidad de los sistemas ambientales. A menudo se citan las reformas en Colombia como ejemplo de que, en el proceso de elaboración de una legislación ambiental moderna, se dividieron institucionalmente las responsabilidades del manejo de los recursos hídricos bajo la jurisdicción de tres ministerios diferentes. En varios países, como Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, Chile y Venezuela, se han reorganizado las instituciones públicas mediante la creación de organismos especializados a cargo de la política ambiental. En algunos otros, estas instituciones tienen importantes responsabilidades ejecutivas, si bien en muchos de ellos se limitan a elaborar políticas que luego son ejecutadas por otros organismos reguladores más antiguos, como ocurre en Chile y Cuba, por ejemplo. En la mayor parte de los países, aún no hay claridad sobre los métodos funcionales que se utilizarán, entre los que existen: creación de políticas, logro de coordinación institucional y búsqueda de mecanismos adecuados de planificación y ejecución de proyectos (CEPAL 1996).

### **8.2 Brasil**

En Brasil, la responsabilidad por la gestión de recursos hídricos es compartida entre el Gobierno Federal y los Estados. De acuerdo con la actual constitución brasileña, promulgada en 1988, las aguas son bienes públicos, de dominio del Estado o de los Estados. Cabe al Gobierno Federal explorar los servicios e instalaciones de energía eléctrica y el aprovechamiento energético de los cursos de agua, conjuntamente con los estados en que haya potencial hidroenergético. También le compete al Estado la prevención de desastres, particularmente inundaciones y sequías. Corresponde al Gobierno Federal crear un sistema de manejo de los recursos hídricos a nivel nacional y establecer criterios para el otorgamiento de derechos de agua. El Gobierno Federal, según la constitución nacional, puede crear zonas de desarrollo en regiones de bajos ingresos que experimentan períodos de sequía, donde las prioridades en cuanto al uso del agua deben obedecer a razones de naturaleza económica y social (CEPAL 1996).



### 8.2.1 Marco jurídico e institucional para el aprovechamiento integrado de los recursos hídricos

En la ley sobre política nacional de recursos hídricos, se dispone la creación de *un sistema nacional de administración de recursos hídricos y se asignan los fondos para tal actividad*. El objetivo es asegurar su uso integrado y armónico y promover el desarrollo y el bienestar de la sociedad brasileña. Los instrumentos de política específicamente enunciados consisten en la entrega de derechos de uso de los recursos hídricos, el cobro de tarifas por la utilización de los mismos, la recuperación de costos de las obras de aprovechamiento múltiple y la instauración de áreas de protección de manantiales y fuentes de agua para el consumo humano. También se especifica que los emisores de afluentes están obligados a cumplir las normas que se establezcan para el control de la contaminación (CEPAL 1996).

Se crea el **Sistema Nacional de Gerencia de Recursos Hídricos (SINGREH)** con el objetivo de asegurar una adecuada gestión y la ejecución de un plan nacional de recursos hídricos. Las directrices formuladas para la administración de estos recursos son las siguientes:

- Considerar la heterogeneidad regional.
- Integrar las iniciativas de los tres niveles de gobierno.
- Promover la descentralización de las acciones, mediante la delegación a los Estados de muchas de las atribuciones del Gobierno Federal.
- Fomentar la cooperación técnica, institucional y financiera entre los usuarios, y
- Estimular la participación de las comunidades participantes.

El SINGREH considera la constitución de **Comités de Cuencas Hidrográficas** y finalmente, de una **Secretaría Ejecutiva**, encargada de formular las directrices generales para apoyar el desarrollo del plan hídrico nacional y promover todas las acciones que conduzcan a su ejecución (CEPAL 1996).

Los **Comités de Cuencas Hidrográficas**, a los que se asigna un papel especial, estarán integrados por representantes de los órganos y entes públicos que tengan injerencia en los recursos hídricos, ya sea para su uso o protección. También participarán los municipios, los usuarios y los eventuales comités de subcuencas o asociaciones de usuarios.

### 8.2.2 La actual estructura administrativa e institucional

La existencia de muchos niveles en la administración de los recursos hídricos, incluidos el Gobierno Federal y los distintos Estados, así como lo diferentes regímenes de propiedad de las aguas, que pueden ser federales o estatales, torna extremadamente compleja la gestión. Por ello, en enero de 1995 se creó la **Secretaría de Recursos Hídricos (SRH)**, que vendría a reemplazar a la **Secretaría Ejecutiva del SINGREH**, vinculada al Ministerio del Medio Ambiente, de los Recursos Hídricos y de la Amazonía Legal, con el objeto de actuar en la planificación y control de las acciones relativas a los recursos hídricos en el Gobierno Federal. **Los derechos sobre los ríos estatales son administrados por organismos de los respectivos Estados** (CEPAL 1996).



La creación de la SRH tuvo entre sus principales objetivos el de unificar las acciones gubernamentales con respecto a la gestión de los recursos hídricos a nivel federal. De manera prioritaria, la SRH pretende descentralizar las actividades a nivel estatal y regional y en las cuencas, de acuerdo con lo previsto en el Capítulo 18 del Programa 21.

Una importante debilidad de los organismos encargados de la gestión de los recursos hídricos a nivel nacional es la marcada reducción de personal y de presupuesto. Actualmente, estas dificultades están siendo superadas por el Gobierno Federal, que está utilizando recursos financieros nacionales y aceptando la cooperación de organismos internacionales. Un aspecto importante es que de acuerdo con las leyes federales, las compañías de hidroelectricidad deben pagar derechos; estas recaudaciones se distribuyen entre estados y municipalidades para compensar el gasto producido por las áreas de inundación que originan los diques. Otra parte de los fondos generados se destina a financiar los sistemas de vigilancia y el manejo de los recursos hídricos (CEPAL 1996).

### 8.3 Colombia

Entre los países analizados, Colombia es el que ha realizado los cambios más profundos en la estructura legal y administrativa relativa al medio ambiente en general y a los recursos hídricos en particular. También se están efectuando cambios en la prestación de servicios públicos, incluidos el agua potable, el saneamiento básico y la electricidad. De una estructura estatal tradicional, organizada de acuerdo con los sectores de actividad socioeconómica, se ha pasado a una organización *en función de objetivos ambientales* y de desarrollo económico, caracterizada por una fuerte descentralización del poder y un fortalecimiento de los esquemas de índole regional. Sin embargo, existe incertidumbre con respecto a la forma definitiva que asumirán los organismos reformados. Las definiciones en el marco legal e institucional son claras, pero aún faltan procedimientos y decisiones que deberán establecerse de acuerdo con la configuración y organización de las nuevas entidades. No obstante, en el país predomina la idea de que la dirección del cambio es propicia y deseable (CEPAL 1996).

#### 8.3.1 Marco jurídico e institucional para el aprovechamiento integrado de los recursos hídricos

El cambio principal fue la promulgación de la Constitución Política de 1991, que estipula, entre sus principios fundamentales, el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano. Como obligaciones del Estado establece (CEPAL 1996):

- Proteger las riquezas naturales de la nación, la diversidad e integridad del ambiente.
- Conservar las áreas de especial importancia ecológica.
- Planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sustentable y su conservación, restauración o sustitución.
- Prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental.
- Organizar, dirigir y reglamentar el saneamiento ambiental, el cual se prescribe como un servicio público a cargo del Estado, conforme a principios de eficiencia, universalidad y solidaridad.
- Cooperar con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.



Los principios generales de la nueva Constitución y de la ley ambiental colombiana se basan en los principios universales y de desarrollo sustentable contenidos en la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (de 1992). Se da prioridad al consumo humano de los recursos hídricos por sobre cualquier otro uso y también se establece que la **falta de conocimiento científico** que permita evaluar con *certeza* ciertos tipos de impacto ambientales, **no será razón para postergar la puesta en práctica** de medidas eficaces que impidan la degradación del medio ambiente.

El Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental poseen el siguiente esquema jerárquico: Ministerio del Medio Ambiente, Corporaciones Autónomas Regionales y, Distritos o Municipios.

Conjuntamente con los cambios de la superestructura legal y administrativa del país, se ha producido una serie de transformaciones orientadas a la descentralización administrativa, la regionalización de las decisiones, la recuperación de los costos y el autofinanciamiento de la mayoría de las actividades (CEPAL 1996).

### **8.3.2 Protección de los recursos hídricos, la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos**

El Ministerio del Medio Ambiente constituye un organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables, tiene la función de definir las políticas y reglamentaciones orientadas a la recuperación, la conservación, la protección, el ordenamiento, el manejo, el uso y el aprovechamiento de los recursos naturales renovables y medio ambiente de la nación, a fin de asegurar el desarrollo sustentable. Así, tiene las atribuciones para establecer los estándares de calidad y los límites permisibles de emisión; fijar las tarifas para el uso y el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, y administrar el Fondo Nacional Ambiental (FONAM) y el Fondo Ambiental de la Amazonía. Dicho Ministerio absorbió algunas de las funciones antes ejercidas por los ministerios de Agricultura, de Salud, de Minas y Energía y el Departamento Nacional de Planeación, y del Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente (CEPAL 1996).

Se destaca la importancia que la ley le asigna a las nuevas **Corporaciones Autónomas Regionales** como entes corporativos de carácter público, integrados por las entidades territoriales que, por sus características, constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica. Estas corporaciones están dotadas de autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica. Sus fuentes de financiamiento son, entre otras, las tasas retributivas o compensatorias; tasas por utilización de agua; porcentaje ambiental sobre los gravámenes a la propiedad inmueble y transferencias del sector eléctrico. Las corporaciones autónomas regionales se encargan de administrar, dentro de su área de jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, propendiendo al desarrollo sustentable, de acuerdo con los principios generales de la ley. Como se puede observar, el criterio de cuenca hidrográfica es sólo uno entre varios otros para determinar la jurisdicción física de las corporaciones autónomas regionales (CEPAL 1996).

La realización de proyectos de riego, drenaje, recuperación de tierras, defensa contra inundaciones y regulación de cauces o corrientes de agua para el adecuado manejo y aprovechamiento de las cuencas hidrográficas, queda bajo la jurisdicción de los



**Departamentos**, los cuales deben coordinar estas acciones con el Sistema Nacional de Adecuación de Tierras y la Corporación Autónoma Regional en cuya jurisdicción se encuentre el departamento. Otro aspecto importante es que se dispone que el Estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables.

### **8.3.3 El agua para la producción sostenible de alimentos y el desarrollo rural sostenible**

La idea central de las autoridades era privatizar, en la medida de lo posible, los distritos de riego que estaban en manos del Estado, con vistas a lograr el autofinanciamiento del sector. Esta ley tiene por objeto regular la construcción de las obras de adecuación de tierras, de modo que su finalidad sea el manejo del riego, el drenaje o la protección contra las inundaciones, para mejorar así la productividad agropecuaria y velar por la defensa y conservación de las cuencas hidrográficas. En adelante, la entidad administradora de las obras de adecuación de tierras será la encargada de obtener las concesiones de aguas superficiales y subterráneas correspondientes, para su aprovechamiento.

Corresponderá a la entidad administradora de cada distrito de riego la función de conceder el derecho de uso dentro de su área de jurisdicción.

## **8.4 Sudáfrica**

La política de gestión de los recursos hídricos de Sudáfrica, nace como consecuencia del proceso de democratización del país y de la necesidad de remediar las ineficiencias, desigualdades y niveles de degradación ambiental generados en el pasado. Es considerada una de las nuevas políticas más progresistas del mundo. El país presenta rangos de variabilidad pluviométrica<sup>8</sup> amplios, por lo cual necesita de una adecuada organización de sus recursos para poder abastecer de agua a toda la población y ecosistemas existentes. Por ello, la importancia de sostener una gestión integrada de cuencas radica en la adecuada Gestión Integrada de Recursos Hídricos, y para esto se establece a la cuenca hidrográfica como la unidad territorial. Sudáfrica comparte varias cuencas con otros países, por lo que se ha preocupado de establecer tratados transfronterizos como medida para el desarrollo de una gestión adecuada, conformándose un nuevo concepto para el país, la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Transfronterizos, GIRHT, donde la unidad de trabajo sigue siendo la cuenca (UNESCO 2007).

La transformación de la gestión de los recursos hídricos de Sudáfrica, parte con un enfoque descentralizado para la gestión del agua, donde se promueve la participación local en la toma de decisiones y se establecen prácticas innovadoras para fijar tarifas. Pero la característica innovadora de la política de Sudáfrica en la GIRH, nace de su enfoque a largo plazo y ecológicamente fundamentado para manejar de forma eficiente los recursos hídricos, así como también, el aseguramiento de la equidad en el acceso y la sostenibilidad del recurso (Aznar 2002).

<sup>8</sup> Varían entre los 100 mm y los 10.000 mm de precipitación media anual, en diferentes zonas del país.



#### 8.4.1 Marco jurídico e institucional para el aprovechamiento integrado de los recursos hídricos

La nueva política de Sudáfrica se enmarca a través de la Constitución de 1996, que consagra el factor fundamental de la GIRH como parte del ambiente, de una economía sostenible y de un desarrollo social (Ballweber 2006). Esta política fue expandida y transcrita en la Ley Nacional del Agua de 1998 (NWA, por sus siglas en inglés). La NWA le asigna la gestión al Departamento de Asuntos Hídricos y Forestales (Department of Water Affaire and Forestry), y a otros organismos, como las Agencias de Gestión de Cuencas, CMA.

Proteger la integridad de los ecosistemas fue uno de los principales temas que apuntaron a la necesidad de elaborar la Ley Nacional del Agua, constituyéndose el concepto de caudal ecológico y estableciendo acciones para su protección, como la modificación de las prácticas de los usos del suelo a lo largo de los cursos de agua, la erradicación de la vegetación no nativa y, por último, medidas para disminuir la producción de contaminantes (Aznar 2002). La ley clasifica al recurso agua en diferentes categorías de protección donde se considera tanto el valor económico, ecológico o social.

Otro importante factor considerado corresponde a la asignación de recursos hídricos para satisfacer necesidades básicas, lo que es establecido en la Ley Nacional del Agua, así como el caudal ecológico. La reserva inicialmente se fijó en 25 litros por persona diariamente y debe ser garantizada como un derecho ciudadano, siendo el Departamento de Asuntos Hídricos y Forestales, el encargado de velar por el abastecimiento y saneamiento de las aguas en todas las provincias (DWAF 2008). **Solamente una vez que se haya asegurado el suministro para satisfacer las necesidades básicas, el agua restante será asignada de manera equitativa entre todas las personas que quieran acceder al recurso con fines de realizar alguna actividad económica.**

Una vez que ocurra lo antes señalado, la ley sudafricana establece que todas las personas deben tener acceso equitativo a los beneficios derivados del uso del agua. De este modo, se pretenden corregir las desigualdades generadas con la distribución del agua, como ocurre en el riego, en que más de la mitad del agua que se utiliza en Sudáfrica se destina a esta actividad, pero la población de raza negra usufructúa menos de un 10%. Otra medida para sustentar la equidad en el acceso, se constituyó a través de la aplicación de tarifas al uso del agua (Aznar 2002).

Chile y Sudáfrica tienen en común la separación de la propiedad de la tierra y del agua, pero en el país africano, esta separación tiene como fundamento el considerar al agua como un bien público, por lo cual es independiente de la propiedad privada, en cambio en el modelo chileno, tanto la tenencia de terrenos como la adquisición de derechos de aprovechamiento tienen carácter de bienes privados. Ambos países constituyen derechos de aprovechamiento de las aguas que pueden ser comercializados o subastados, pero en Sudáfrica la asignación ocurre únicamente una vez que se haya abastecido la demanda por necesidades básicas y solamente se pueden asignar por un máximo de 40 años, estando sujetos a revisión cada cinco años. De esta manera este país presenta un sistema y modelo de equidad social innovadores, orientado a preservar la calidad de las aguas y remediar situaciones donde ha habido una asignación excesiva, o aquellas en que las demandas socioeconómicas han cambiado.



## 8.4.2 Participación ciudadana e institucionalidad

La participación ciudadana en el sistema de manejo integrado de cuencas de Sudáfrica, ha sido ampliamente implementada en todos los procesos y se ha incrementado con el paso del tiempo, pero han surgido los primeros problemas en cuanto a la transectorialidad del recurso, porque el **suministro concreto de las aguas** a los usuarios de las cuencas ya no corresponde al Departamento de Asuntos Hídricos y Forestales, sino a las **Agencias de Gestión de Cuencas** locales (CMA por sus siglas en inglés). Actualmente el gobierno de Sudáfrica dispondría de 19 nuevas CMA y la gestión de cuencas, aunque corresponde a una propuesta a nivel nacional, estará siempre determinada por la administración de las CMA, habiendo cuencas que presentan un mejor manejo que otras (Ballweber, 2006).

Si bien este modelo ideal de manejo integrado de cuencas parece estar exento de problemas, la institucionalidad, corresponde a uno de los desafíos más grandes, por la dificultad de coordinar una estrategia de cuencas a nivel nacional, siendo que en cada cuenca existen características físicas y socioculturales completamente distintas. Además, corresponde a una política bastante nueva no sólo a nivel mundial, sino también para el país, lo cual trae numerosos problemas de adaptación y consenso entre la población, no habiendo muchos casos previos desde los cuales tomar ejemplos. Se requiere de tiempo para que esta política termine de ajustar su proceso de implementación y se vigorece, pero representa una iniciativa que pareciera contemplar todos los enfoques de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

## 8.5 México

### 8.5.1 Marco jurídico e institucional para el aprovechamiento integrado de los recursos hídricos

En México, el interés por la GIRH se refleja en la creación de la Comisión Nacional del Agua, CNA, el año 1989 (y renombrada como CONAGUA el año 2004) como el organismo descentralizado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, responsable de administrar aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, de acuerdo con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CNA 2006 citado por Perevochtchikova 2007). A la par, se elabora para el año 1992, la Ley de Aguas Nacionales, LAN (reformada el año 2004), donde *se considera a la cuenca hidrográfica como unidad básica de administración del agua*. Se establece la creación de **Gerencias Regionales y Estatales** de la CNA y **Consejos de Cuenca**, y en el reglamento de 1997 se abre espacio a la participación organizada de los usuarios en el manejo por cuencas mediante asambleas (Ávila 2007).

El territorio del país fue delimitado por la CNA por cuencas hidrográficas agrupadas en 37 **Regiones Hidrológicas, RH**, y en el Programa Nacional Hidráulico 2001-2006 fueron re-agrupadas en XIII **Regiones Hidrológicas Administrativas, RHA**, ajustadas a los límites municipales para los fines estrictamente administrativos (Perevochtchikova 2007)

Cabe mencionar que a partir de la década de 1990 el territorio del país fue delimitado por 653 acuíferos para responder a la necesidad de administrar también aguas



subterráneas, con el establecimiento de **Comités Técnicos de Aguas Subterráneas, COTAS** (CNA 2004 citado por Perevochtchikova 2007).

Para su funcionamiento los Consejos de Cuenca pueden contar con organizaciones auxiliares a niveles de sub-cuenca, microcuenca (esto según el tamaño) y de acuífero, denominadas respectivamente: Comisiones de Cuenca, Comités de Cuenca y COTAS. A esta escala se presenta la dificultad de que los límites de las cuencas, de los acuíferos delimitados por la CNA y los límites administrativos no coinciden, lo que desde el principio dificulta la gestión del recurso del agua por cuenca. Otro problema observado es la separación de las aguas superficiales y las subterráneas durante el proceso de administración, y a esto se suma un tercer aspecto, relacionado con la excesiva complejidad de la estructura orgánica de la organización de la gestión, que frena cualquier intento de manejo integral debido a la desconexión de las partes participantes.

Por lo antes visto, el proceso de la implementación de manejo de/por cuencas en México ha enfrentado varias dificultades en su camino, por lo que se ha retrasado y en algunos casos no ha funcionado con la eficacia necesaria. Analizar estas limitaciones se considera indispensable, pero no solamente en forma independiente o como un país aislado, sino en comparación con experiencias internacionales, y aunque se entiende que cualquier experiencia tomada de un ejemplo exitoso puede fracasar en las condiciones específicas socio-político-económicas de cada país en particular, se cree poder sacar provecho de la búsqueda de las posibles causas de los retrasos en la aplicación del concepto de manejo por cuencas (Ávila, 2007). Vale la pena comentar que entre los años 2006 y 2007 en México se hizo un esfuerzo importante para unificar la delimitación por cuencas hidrográficas que se ha tenido anteriormente, con lo cual se presentará pronto al acceso público la nueva cartografía de cuencas a escala 1:250.000 en cobertura nacional realizada por el Instituto Nacional de Ecología, la CNA y otros (Perevochtchikova 2007).

En 1972 se formó la comisión del Plan Nacional Hidráulico, actualizado a 1981, con el objeto de formular un plan para estudiar y proponer los programas que permitieran un desarrollo equilibrado y un manejo más eficiente de los recursos hidráulicos en las regiones. Una actualización de la versión de 1981, acorde con los cambios observados en la demanda del recurso por parte de los diferentes sectores económicos, con las evaluaciones más recientes sobre disponibilidad de agua superficial y subterránea, y considerando también, la necesidad de lograr un desarrollo sustentable, fue la base para la elaboración del Programa Hidráulico de la Subdirección General de Planeación de la CNA, entre 1995 y 2000. Este Programa Hidráulico consideró cuatro grandes programas, dirigidos a resolver los siguientes problemas: a) Hidro-agrícolas, b) De agua potable, c) De alcantarillado y saneamiento del sistema hidrológico, y d) De administración del agua. Los dos primeros pretenden apoyar el aprovechamiento de los recursos hídricos en sus diversos usos con el objeto de asegurar que el uso eficiente y amplio de estos recursos contribuya al desarrollo del país, dentro de un equilibrio de los objetivos económicos, sociales y ambientales (CEPAL 1996).

El Programa sobre administración del agua contempla importantes acciones, tales como mantener actualizado el Registro Público de Derechos de Agua, emitir los títulos de concesión y los permisos para los usos del agua y para las zonas federales, recaudar los fondos por los derechos de uso de las aguas nacionales, verificar (mediante mediciones que se entreguen) las dotaciones correspondientes a los títulos y permisos, y regularizar la situación de los usuarios del agua, entre otros (CEPAL 1996).



### 8.5.2 Protección de los recursos hídricos, la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos

La contaminación de las aguas por descargas de aguas residuales de origen doméstico, industrial, de drenaje agrícola, lixiviado, de malezas acuáticas e intrusión marina en acuíferos, son un serio factor limitante en el uso del recurso hídrico en la mayoría de los sectores. Por ello, se crearon programas específicos para mitigar la contaminación y controlarla. En especial, se ha preparado un adecuado marco legal que permite establecer las medidas de control, principalmente mediante la aplicación de los ordenamientos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, así como de sus respectivas normas de calidad del agua, conjuntamente con la aplicación de las disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento, y la Ley Federal de Derechos, que determina y grava las descargas de las aguas residuales que no se ajustan a las normas, lograr un autofinanciamiento de los servicios de manejo del agua, aumentar la eficiencia de su uso y distribuir los costos entre los usuarios de forma proporcional al beneficio que obtienen del recurso. Otra atribución de la ley es la tarifación que los usuarios deben pagar por los servicios de suministro de agua con obras construidas y operadas por la federación, y la tarifación por los derechos de uso o aprovechamiento de aguas de propiedad de la nación, valores que varían de forma inversa a la disponibilidad de agua en distintas zonas, para lo cual se dividió al país en cuatro regiones.

Por otra parte, en cada uno de los programas de la CNA, se consideran las acciones necesarias para atenuar y controlar la contaminación. A partir de 1974 inició sus actividades la Red Nacional de Monitoreo de la calidad del agua, que al mediados de la década de 1990 contaba con 793 estaciones. También el Sistema Hidrológico considera un subprograma específico para el control de la contaminación orientado especialmente las descargas de aguas residuales de origen doméstico, industrial y agrícola en las 15 cuencas más contaminadas del país (CEPAL 1996).

En el Tabla 4 se muestran los organismos responsables de administrar el agua en distintos niveles organizativos

**Tabla 4: Niveles administrativos del agua en México.**

Nivel administrativo	México
Secretaría	SEMARNAT
Federal	CNA, Oficinas Centrales
Regional	Oficinas Regionales, CNA
Estatad	Gerencias Estatales, CNA
Local	Municipalidades, organizaciones no Gubernamentales, asociaciones civiles

Fuente: Perevochtchikova (2007).

En México actualmente existen 25 Consejos de Cuenca pertenecientes a la CNA, en forma paralela a la administración del agua en las Oficinas Regionales y Estatales. Los Consejos se forman por Comisiones, incluyendo el Organismo de Cuenca que corresponda y las dependencias y entidades de las instancias Federal, Estatal y Municipal, y los representantes de los usuarios del agua y de las organizaciones de la sociedad de la respectiva cuenca o región hidrológica (Perevochtchikova 2007), lo que en realidad no ha funcionado adecuadamente (Ávila 2007). Las funciones de Consejos de Cuenca se definen en la integración mixta para la coordinación y concertación, apoyo,



consulta y asesoría en el manejo de agua para todos los usuarios y habitantes de la cuenca, además de formular y ejecutar programas y acciones para la mejor administración de las aguas, el desarrollo de la infraestructura hidráulica y de los servicios respectivos y la preservación de los recursos de la cuenca (CNA 2006, citado por Perevochtchikova 2007).

El financiamiento que el país tiene para llevar a cabo estas estrategias, proviene de fuentes internacionales y nacionales. En el primer caso, fuentes como el Banco Mundial apoyan el desarrollo de programas de interés multinacional, como cuencas y recursos transfronterizos, por dar un ejemplo. En el caso nacional, existen fondos federales para programas y necesidades a nivel nacional; fondos estatales para dicha escala, y fondos municipales para los programas y mantenimiento de la red hidráulica local. La recaudación a nivel local se nutre de los derechos que integra los conceptos de explotación, uso y aprovechamiento de aguas nacionales, uso de cuerpos receptores, suministro de agua en bloque a centros urbanos e industriales, servicio de riego, uso de zonas federales y otras (por ejemplo, multas, IVA, trámites). Además, existen sistemas de subsidios donde el pago por uso doméstico del agua no refleja los gastos del funcionamiento y mantenimiento de la red hidráulica; y de pago en agricultura donde no se utiliza una gran cantidad del agua (Perevochtchikova 2007).

Dentro de las debilidades y tareas pendientes de la nación mexicana en su gestión, identificados por Ávila (2007) se encuentran la ausencia de democracia en el proceso de selección de representantes en los Consejos de Cuenca, la falta de poder controlador en los consejos para implementar los programas; las deficiencias identificadas por Perevochtchikova (2007) serían la falta de transparencia en la información, conflictos sociales en los territorios que comparten las mismas cuencas, carencia de la participación social, que es considerada muy importante, falta de base normativa al iniciar el proceso de establecimiento de Consejos de Cuencas, y falta de cobertura nacional para los mismos. La misma autora sugiere algunos retos para implementar en el país<sup>9</sup>, de los cuales vale la pena mencionar el desarrollo de un sistema de monitoreo físico-químico del agua superficial y subterránea, la creación de una base única de información con los datos de este monitoreo, el establecimiento de Consejos de Cuenca con proyectos piloto para optimizar la participación social, estimulación de la eficiencia del uso del agua en agricultura -considerando infraestructura, tarifas y educación en el campo-, y la mejor preparación de profesionales calificados en materia de recursos hídricos, desde cursos de capacitación en el extranjero hasta educación de los maestros de escuela.

### **8.5.3 El agua para la producción sostenible de alimentos y el desarrollo rural sostenible**

Debido a las características físicas y climáticas de México, en la mayor parte del país no existen condiciones adecuadas para la producción agrícola de secano. Así, en el subsector del riego, cuya superficie cosechada en 1993 fue superior a los cinco millones de hectáreas (28,8% del área total cosechada), el valor de la producción representó más del 50% del valor total de la producción agrícola. La superficie cosechada en áreas con infraestructura de riego ha disminuido en los últimos ocho años en cerca de medio millón de hectáreas, entre otras razones, porque los productores poco competitivos han

<sup>9</sup> Perevochtchikova (2007) realiza una comparación de los casos de México y Rusia, y las recomendaciones planteadas atienden a las debilidades detectadas como similares para ambos países.



salido del mercado. En 1994 la CNA estimó que la demanda de agua para el sector agropecuario era del orden de  $61.135 \text{ Hm}^3$ , de los cuales  $41.052 \text{ Hm}^3$  provenían de fuentes superficiales y  $20.083 \text{ Hm}^3$  de aguas subterráneas<sup>10</sup>. En los distritos de riego, la eficiencia de la conducción media apenas llega al 64% y la de aplicación es posiblemente menor. Ello significa que los usuarios de los distritos usan menos del 40% del agua derivada. Sin embargo, el agua que no fue aprovechada no se desperdicia, ya que una parte de ella contribuye a recuperar los acuíferos, y otra, a veces, es aprovechada aguas abajo (CEPAL 1996).

Para asegurar un mejor manejo del agua en el sector agrícola, la CNA ha estado desarrollando subprogramas como el de la transferencia de la operación, la conservación y la administración de los distritos de riego a las organizaciones de usuarios. Desde 1989 hasta junio de 1995, se transfirió un 80,3% de la superficie total de los distritos de riego (alrededor de 2.500 millones de hectáreas). Además, se han creado siete sociedades de responsabilidad limitada e interés público, que agrupan a 98 asociaciones de usuarios, con una superficie de 705.592 hectáreas. Estas sociedades se han hecho cargo de la operación total de sus distritos, incluidos la operación y el mantenimiento de las redes mayores de canales, drenes y caminos (CEPAL 1996).

## 8.6 Conclusiones

En los casos revisados es posible ver que las iniciativas que se han desarrollado, tienen elementos en común que no se presentan en la experiencia chilena. De ellos, el más importante se refiere a la característica del **agua como un bien del Estado** que no se entrega a perpetuidad. Vinculado a esto se encuentra **la priorización de uso** en las cuencas, donde destaca Sudáfrica al determinar el uso ecológico y/o la conservación como el más importante para el mantenimiento de los recursos naturales en el tiempo, a partir de lo cual se determinan los usos de agua para consumo y en tercer lugar, los usos productivos; situación inversa a la de Chile donde el agua es resignada por el mercado en función del uso más económicamente rentable, y donde no se considera el uso ambiental como legítimo en los cuerpos legales. En el caso de México y Brasil, es importante notar que su organización federal es diferente de la administración chilena, pudiéndose discutir sobre las implicancias de una y otra en la gestión del agua. Respecto de la institucionalidad, se destaca el caso de Colombia, donde la creación del Ministerio de Medio Ambiente incluye la reasignación de funciones que se encontraban dispersas en otros organismos y ministerios del Estado.

De forma negativa, se observa que Brasil posee problemas en la definición de la entrega de derechos, y falta de presupuesto para llevar a cabo sus reformas. En Colombia, se ha reconocido que la falta de información no será un obstáculo para postergar la puesta en práctica de las medidas propuestas, con lo cual aumenta la incertidumbre asociada a la implementación de su nueva estrategia. En Sudáfrica, cuesta entender que el trasvase de agua entre cuencas sea compatible con su visión de conservación de los recursos naturales, mientras que en México se indica que hay problemas en la democratización de la elección de representantes, y en carencias de control en la implementación de programas. Para finalizar, se destaca que **la descentralización** de las estrategias, en los cuatro casos expuestos, estaría fuertemente relacionada con procesos de **participación ciudadana**, los cuales se consideran esenciales para el desarrollo local e integrado que se plantea, y en donde México se ve como el más débil.

<sup>10</sup> Equivalencia:  $1 \text{ Hm}^3$  equivale a  $1.000 \text{ m}^3$ .



Capítulo 3:

---

Los recursos hídricos en Chile

## 9 MAPA DE RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE

La visualización de la información territorial a través mapas resulta de valiosa utilidad para el entendimiento de los fenómenos que ocurren en el territorio. Por este motivo se decidió incorporar en este informe una cartografía que da cuenta de la existencia de los recursos hídricos, desde la perspectiva de su distribución espacial.

Para la elaboración de este material se utilizó información cartográfica facilitada por la DGA, por lo que es posible afirmar que, a través de los mapas generados, se expresa la situación oficial y actualizada a la fecha de los recursos hídricos en el país. En ellos se muestra la distribución geográfica de los cursos superficiales de agua, cuerpos de agua, vegas protegidas, acuíferos con restricción y prohibición, sitios SNASPE, centros poblados, división de cuencas y sub cuencas y la división política administrativa, para todo el país.

La cartografía generada se entregó adicionalmente, en el segundo informe de avance, en formato papel y digital, la que fueron elaborados a partir de los siguientes parámetros cartográficos:

DATUM : WGS 84  
 Proyección : UTM 19 Sur

A continuación se detallan los planos elaborados:

Nombre	Regiones que abarca
Mapa de Recursos Hídricos de Chile (1/4)	: Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama (parcial)
Mapa de Recursos Hídricos de Chile (2/4)	: Atacama (parcial), Coquimbo, Valparaíso, Metropolitana, Libertador General Bernardo O´Higgins, Maule, Biobío (parcial)
Mapa de Recursos Hídricos de Chile (3/4)	: Biobío (parcial), Araucanía, Los Ríos, Los Lagos, Aysén (parcial)
Mapa de Recursos Hídricos de Chile (4/4)	: Aysén (parcial), Magallanes



## 10 DISPONIBILIDAD DEL AGUA EN CUENCAS PILOTO

### 10.1 Introducción

El agua en Chile, así como en muchos lugares del mundo, se está convirtiendo en un recurso escaso, lo que se traduce en que no está siempre disponible para los usuarios que quieren o necesitan usarlo, ya sea en actividades productivas, o bien para necesidades básicas. Esta es una causa de innumerables conflictos, no sólo a nivel internacional, donde algunos afirman que éste será el motivo de futuras guerras entre países, sino que también a nivel local, entre usuarios de un mismo territorio. Este tipo de conflicto puede prevenirse o mitigarse sabiendo *a priori* cuál es la disponibilidad del recurso hídrico por sistema hidrológico, de tal manera que la distribución del recurso satisfaga las necesidades de quienes la requieren.

Determinar qué volumen es posible otorgar en una determinada cuenca, cauce o acuífero en Chile resulta esencial no sólo para evitar los conflictos por el uso del agua, sino que también para evitar su agotamiento. La Dirección General de Aguas es la encargada de determinar la disponibilidad de agua en las cuencas del país con el fin de otorgar el derecho a su uso en función de los recursos que efectivamente existen. Estos estudios son especialmente importantes en la zona centro norte del país, donde por condiciones naturales de clima y geografía, la oferta del recurso es más restrictiva<sup>11</sup>.

Los estudios de evaluación de la disponibilidad de agua se basan en balances hidrológicos o bien en modelos de simulación de disponibilidad, ambos análisis técnicos se usan para proyectar la explotación sustentable del recurso en el largo plazo, constituyendo derechos según los resultados arrojados por dichos estudios<sup>1</sup>.

En el presente producto se hace una revisión bibliográfica de los estudios de disponibilidad de recursos hídricos de la DGA para las cuencas piloto. El tipo y características de la información varía ampliamente entre una cuenca y otra, por lo tanto, en algunos casos fue necesario acudir a estudios elaborados por otras instituciones para completar la información. De todas maneras, gran parte de este capítulo se basa en información generada por la DGA de forma directa o a través de estudios licitados a consultoras privadas.

### 10.2 Clasificación de derechos de aprovechamiento

Con el fin de aclarar los conceptos asociados a uso y disponibilidad de agua en función de derechos de aprovechamiento, se entrega a continuación una explicación de la forma la clasificación actual de los derechos de aprovechamiento de agua según el DFL 1.222: (Fuster *et al.* 2009a)

Consuntivos / No Consuntivos. Los derechos consuntivos son los que "facultan al titular a consumir totalmente el agua otorgada en cualquier actividad". En los no consuntivos, en cambio, el titular de un derecho "emplea el agua sin consumirla, debiendo restituirla

---

<sup>11</sup> Comunicación personal con Ximena Paredes, Departamento de Administración de Recursos Hídricos DGA, 27 de mayo de 2009.



en un punto establecido” y tanto la captación como la restitución no debe afectar el ejercicio de aprovechamiento de terceros.

Permanentes / Eventuales. Los derechos permanentes son los entregados en fuentes (cuerpos de agua) que no se encuentran agotadas, y los que se habían otorgado antes de este cuerpo normativo. “Pueden usar el agua en la dotación que le corresponda excepto cuando la fuente de abastecimiento no lleve la dotación necesaria, en esos casos se reparte en forma alícuota”. Los derechos de aprovechamiento eventuales se entregan cuando todos los derechos permanentes han sido otorgados, y se utilizan cuando el caudal matriz lleva excedentes y todos los derechos permanentes han sido abastecidos.

Continuo / Discontinuo / Alternado entre varias personas. “Los primeros corresponden a aquellos en que se puede hacer uso del agua en cualquier momento y sin interrupciones, los discontinuos sólo pueden ser usados durante determinados períodos, los alternados entre varias personas corresponden a aquellos en que el uso del agua se reparte entre dos o más personas que se van turnando”.

En el caso de las aguas superficiales, los ríos, lagos, esteros u otros cuerpos de agua, pueden ser declarados agotados por la DGA cuando no disponibilidad suficiente para otorgar más derechos de aprovechamiento.

### **Aguas subterráneas**

En el caso de los acuíferos, la DGA autoriza obras de exploración, y una vez detectada la existencia de agua, se solicita la explotación de estos recursos. Una vez concedidos los derechos de aprovechamiento “se establece el área de protección donde se prohíben otras extracciones que puedan afectar el ejercicio del derecho de aprovechamiento” (Fuster *et al.* 2009a).

En el caso de las aguas subterráneas, cuando ya no es posible otorgar más derechos permanentes, se declara como Zona de Restricción, momento en el que se pueden entregar únicamente derechos provisionales, por un plazo de cinco años, al cabo del cual debe evaluarse de forma técnica la capacidad del acuífero para recuperar su volumen de agua. Cuando ya no es posible entregar más derechos de aprovechamiento de cualquier tipo en el acuífero, se le declara como Zona de Prohibición, y cesa la entrega de derechos.

A continuación se presentan los antecedentes más relevantes de cada cuenca piloto (ver más detalle en el apartado 3 *Cuencas Piloto*), incluyendo un análisis de los usos del agua en cada una de ellas, como se detalla a continuación:

## **10.3 Cuenca del Río Lluta**

### **10.3.1 Usos del agua**

Dadas las condiciones de aridez y componentes tóxicos naturales de los ríos de la cuenca del río Lluta, las actividades productivas están restringidas a aquellas que puedan adaptarse a dichas características, como el cultivo de especies agrícolas resistentes, la extracción de minerales, turismo y servicios.



La actividad agrícola en la Región de Arica y Parinacota (y así también para la cuenca del Lluta) se desarrolla en pequeñas quebradas y valles costeros (Torres y Acevedo 2008). La superficie total agrícola de la cuenca es de 7.606 ha, sin embargo, el área cultivada se limita normalmente a 2.784 ha que corresponden al 37% del total de tierras agrícolas. La superficie restante está en permanente desuso debido a la escasez de agua de riego y a la baja capacidad de drenaje del suelo (CADE-IDEPE 2004a). Para el riego se extrae agua por medio de canales ubicados a lo largo del río (JICA/MOP 1995 citado por SILOB Chile 2005). Los cultivos más representativos de la cuenca son el maíz, alfalfa, árboles (pimientos, sauces) y matorrales (SILOB Chile 2005). En la Tabla 5 se desglosa la demanda agrícola por sector y cultivo, en la cuenca del río Lluta.

**Tabla 5: Demanda de agua por sectores de riego ( $10^3 \text{ m}^3$  /año) en la cuenca del río Lluta**

Sector	Maíz	Vegetales	Forraje	Total
Alto	1983,9	184,8	1980,8	4149,4
Primero	2089,5	577,4	4707,6	7374,5
Segundo	1528,3	1311,2	4118,2	6957,7
Tercero	8027,3	1873,2	4065,1	13965,6
Cuarto	20178,8	4641,9	1848,0	26668,7
Quinto	2318,5	1724,4	1439,1	5482,9
<b>Total</b>	<b>36126,5</b>	<b>10312,8</b>	<b>18158,7</b>	<b>64597,9</b>

Fuente: JICA (1995), citado por Torres y Acevedo (2008).

Según López y Gallardo (sin año), para usos mineros se han otorgado derechos de aguas subterráneas o de vertientes a tres empresas mineras por 65,5 L/s. (CADE-IDEPE 2004a).

Existen 33 asentamientos humanos en esta cuenca, todas localidades rurales. El asentamiento más importante de la cuenca es Putre, donde se concentra prácticamente la totalidad del uso doméstico del agua de la cuenca, y es la única que cuenta con servicio de agua potable y alcantarillado proveniente de la red pública. Para 1996 esta localidad demandaba 0,46 L/s obtenidos en forma subterránea, considerando sólo el sector residencial (CADE-IDEPE 2004a).

La Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá S.A. también ocupa aguas subterráneas de la cuenca del río Lluta, a través de la extracción de pozos ubicados a lo largo del río, en el sector más cercano al mar, después de lo cual la aguas son desalinizadas y usadas para abastecer las demandas de agua potable de parte de la población de Arica. Según los registros de derechos otorgados de la DGA (DICTUC y DGA 2008), esta empresa cuenta con un caudal otorgado de 278 L/s.

Otros usos del agua identificados por CADE-IDEPE (2004a) son: biodiversidad, representado por el Parque Nacional Lauca, y usos ancestrales<sup>12</sup>.

La información disponible más reciente sobre uso del agua es la generada por el estudio del 2007 encargado por la DGA a los Ingenieros Consultores Ayala, Cabrera y Asociados Ltda., cuyos resultados se muestran en la Tabla 6. Si bien esta información puede tener ciertas diferencias con las enunciadas en otros estudios ya mencionados, estos

<sup>12</sup> Comunicación personal con Waldo Contreras, Director Regional de Aguas Región de Arica y Parinacota, 8 de junio de 2009.

corresponden a diferencias en las fuentes de información utilizadas por ambos, y a la escala espacial de los estudios (el estudio presentado por DGA en el 2007 es a nivel nacional, por lo que es posible que sea menos detallado que otros donde sólo se estudió la zona norte o la cuenca del río Lluta), sin embargo, a partir de estos valores (que coinciden en tendencia con los ya enunciados) es posible visualizar que el uso agrícola sigue siendo el más importante de la cuenca.

**Tabla 6: Caudal por tipos de usos del agua (m<sup>3</sup>/s) para la cuenca del río Lluta**

Caudal por uso del agua (m <sup>3</sup> /s)				
Agropecuario	Agua potable	Minero	Turismo	Caudal ecológico
2,142	0,007	0,209	0,002	0,220

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a).

### 10.3.2 Disponibilidad de derechos de aprovechamiento de agua

Desde el punto de vista técnico, la cuenca del río Lluta está declarada agotada superficialmente y de prohibición en relación a las aguas subterráneas<sup>13</sup>, por lo cual la DGA no entrega nuevos derechos de aprovechamiento.

En el acuífero de la cuenca del río Lluta existen derechos constituidos por 382 L/s (MOP-DGA 2002 citado por López y Gallardo sin año) y en total 534 L/s de derechos solicitados, que corresponden, además, al caudal máximo sustentable.

En aguas superficiales, los esfuerzos por encontrar datos de caudales totales otorgados en la cuenca no han sido fructíferos, ya que los estudios revisados no entregan mayores referencias en el tema y la información disponible de la DGA no es precisa, ya que sólo dispone de la distribución administrativa de los derechos de agua<sup>14</sup>, y no por cuenca, ahora bien, existe un sistema de información geográfica que permite visualizar los derechos en cada cuenca, pero no todos los puntos de captación están georreferenciados, por lo que la información no es exacta.

A la fecha no existen derechos otorgados para usos no consuntivos, aunque se señala que hay disponibilidad para constitución de derechos de este tipo<sup>3</sup>.

### 10.3.3 Disponibilidad física de agua

#### 10.3.3.1 Disponibilidad de aguas superficiales

En términos físicos, a pesar que la cuenca del río Lluta habría sido declarada como agotada, la percepción general es que no hay problemas de disponibilidad de agua, esto ya que aun existe escurrimiento superficial en los cauces y no existen conflictos por el uso de este recurso entre los usuarios<sup>15</sup>. Esto se debe a que la contaminación natural de

<sup>13</sup> Comunicación personal con Waldo Contreras, Director Regional de Aguas Región Arica y Parinacota, 8 de junio de 2009.

<sup>14</sup> Esto es relevante debido a que los límites comunales no necesariamente coinciden con los límites de las cuencas.

<sup>15</sup> Entrevistas realizadas a: Luis Rojas (División de Estudios y planificación DGA), 5 de junio de 2009; Waldo Contreras (Director Regional de Aguas Arica y Parinacota), 8 de junio de 2009; y Michael Humire (Presidente de la Junta de Vigilancia del Río Lluta), 8 de junio de 2009.



las aguas superficiales implica que en muchas ocasiones no se pueda aprovechar para ciertos usos, o bien requiera de un tratamiento previo, lo que dificulta su utilización.

A pesar de lo anterior, Madaleno y Gurovich (2007), analizando datos de distintas fuentes, señalan que el caudal medio del río Lluta ha disminuido en un 32%, de 2,3 m<sup>3</sup>/s en 1976 a 1,56 m<sup>3</sup>/s en el año 2000, afectando la disponibilidad de aguas superficiales. En efecto, el Director de Aguas de la Región de Arica y Parinacota y el Presidente de la Junta de Vigilancia del Río Lluta<sup>16</sup> manifestaron que entre los meses de octubre, noviembre y diciembre, el río no tendría escurrimiento superficial en ciertos tramos.

Por otro lado, la disponibilidad de agua para riego es uno de los temas más importantes para el desarrollo económico de la cuenca, ya que sólo el 69% de la superficie agrícola del valle es regada, mientras el 31% restante no puede ser cultivado por falta de agua. Es así como se estima que el caudal promedio que llega al mar –y que podría ser utilizado en riego- es del orden de los 1.000-1.500 L/s, cantidad suficiente como para regar con una eficiencia aceptable para un sistema mecánico a lo menos 2.000 ha (Torres y Acevedo 2008).

Con el fin de aumentar la disponibilidad, junto con problemas de crecidas y arrastre de sedimentos, se planteó la posibilidad de construir un embalse en el río (DITUC y DGA 2008) el cual permitiría embalsar un volumen de 17 millones de m<sup>3</sup> y que se emplazaría en el sector de Chironta, aproximadamente 14 km aguas arriba de la estación Lluta en Tocontasi.

### **10.3.3.2 Disponibilidad de aguas subterráneas**

Las mayores pérdidas de recursos hídricos de la cuenca se estarían dando en los acuíferos, y dado que comúnmente no se puede contar con los recursos superficiales - por su mala calidad- se sobreexplotan los recursos subterráneos (aunque de todas maneras también requieren de un tratamiento previo<sup>17</sup>), donde los caudales extraídos de pozos superan a la recarga afluyente (Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile 2005).

Según DITUC y DGA (2008) la recarga desde el río Lluta es de 460 L/s. El riego es la principal fuente de recarga al acuífero por medio de los canales de regadío o durante el riego a los cultivos que en un 80% de los casos es por tendido con una baja eficiencia<sup>3</sup>. El Gráfico 1 muestra los niveles de los pozos de la parte baja de la cuenca del río Lluta, donde no es posible apreciar una tendencia clara de los niveles.

<sup>16</sup> Comunicación personal el día 8 de junio de 2009.

<sup>17</sup> Ver caso de desaladora en Arica, en el apartado 12.2 Aguas desaladas.



**Gráfico 1: Niveles de pozos (m), de la zona baja de la cuenca del río Lluta, entre los años 2000 y 2005**



Fuente: MOP-DGA (2005), citado por López y Gallardo (sin año).

Más específicamente, en la zona alta de la cuenca del río Lluta, los recursos de aguas subterráneas se limitan en el área a los bofedales que se forman en los fondos de quebradas, y los pequeños acuíferos de respaldo asociados.

## 10.4 Cuenca del Río Loa

### 10.4.1 Usos del Agua

Los recursos hídricos de la cuenca del río Loa se destinan a diversos usos, como se muestra en la Tabla 7.

Los usos ancestrales corresponden a derechos de comunidades indígenas relacionadas principalmente con agricultura de subsistencia (CADE-IDEPE 2004b).

Los sitios de protección de biodiversidad corresponden a áreas de conservación incluidos en el documento "Estrategia y plan de acción para la conservación de la biodiversidad en la región de Antofagasta" (CADE-IDEPE 2004b).

**Tabla 7: Utilización del recurso hídrico en la cuenca del río Loa**

Río	Sector	Agua potable	Riego	Minería	Protec. Biodiv.	Derecho ancestr.	Hidroeléct.
Loa	Naciente - Antes represa Lequena	x				x	
	Antes represa Lequena - Salida embalse Conchi	x					
	Salida embalse Conchi - Confluencia río Salado		x				
	Confluencia río Salado - Yalquincha	x	x				
	Yalquincha - Frente a Calama		x				
	Frente a Calama - La Finca		x				
	La Finca - Confluencia Loa Salvador				x		



Río	Sector	Agua potable	Riego	Minería	Protec. Biodiv.	Derecho ancestr.	Hidroelé c.
	Confluencia Loa Salvador - Sloman			x			
	Slogan - Quillagua		x		x		
	Quillagua - límite subcuenca				x		
	Límite subcuenca - Desembocadura				x		
Toconce	Naciente - Antes represa Essan	x	x		x		
Salado	Confluencia río Toconce - Calidad Salado Ayquina		x				
San Pedro	Naciente - Embalse Conchi					x	
San Salvador	Naciente - Confluencia Loa						x

Fuente: CADE-IDEPE (2004b)

Considerando los usos principales en la Región, se presentan las estimaciones futuras de los usos actuales de agua (ver Tabla 8), para 10 años y 25 años respectivamente, según el documento "Estrategia regional de recursos hídricos Región de Antofagasta" (DGA 2008a).

**Tabla 8: Usos y estimaciones futuras del uso del agua en la cuenca del río Loa**

Río Loa	Usos (m <sup>3</sup> /s)		
	Agrícola	Agua potable	Minero
Uso actual	1,214	1,32	2,211
Uso futuro 10 años	1,214	1,32	2,720
Uso futuro 25 años	1,214	1,32	3,880

Fuente: DGA (2008b).

En la cuenca del río Loa se desarrollan principalmente cultivos como la alfalfa y el maíz. En menor medida se aprecian cultivos de trigo, zanahorias, ajo y otras hortalizas<sup>18</sup>.

A través de las entrevistas realizadas, se pudo identificar la existencia dos principales usuarios del agua: empresas privadas y canalistas.

**Privados:** Aguas Antofagasta tiene 1373 L/s; CODELCO tiene 800 L/s, a pesar de que tiene más derechos que no son aplicables y a la vez tiene en Ojos de Opache donde sacan cerca de 1200 L/s que son vertidos para nuevamente ser sacados aguas abajo; SQM tiene 246 L/s; FCAB tiene por derecho 237 L/s más 10 L/s en otro lado pero no puede extraer la totalidad, por lo que saca 120 L/s más los 10 L/s del otro sector<sup>8</sup>.

**Canalistas:** Se distribuyen en Calama, Lasana, Chiu Chiu y Quillagua. Los derechos en la zona de Calama, Lasana y Chiu Chiu están repartidos en m<sup>3</sup>/mes, mientras que los de Quillagua están en m<sup>3</sup>/año. En Quillagua, SQM tiene aproximadamente 3.355.000 m<sup>3</sup>/año, la gente originaria 838.000 m<sup>3</sup>/año, y particulares tienen aproximadamente 354.000 m<sup>3</sup>/año. En Quillagua, en promedio y transformando a L/s, son 144 L/s. De la

<sup>18</sup> Comunicación personal con Claudio Lam, Director Regional de Aguas, Región de Antofagasta, realizada el 20 de mayo 2009, vía telefónica.



totalidad, 106 L/s son de SQM (pero no los saca), 26 L/s son de titulares originales de Quillagua y el resto de privados de Calama. En Calama hay 29.700.070 m<sup>3</sup>/año. En Chiu Chiu hay 4.948.000 m<sup>3</sup>/año. En Lasana 1.510.000 m<sup>3</sup>/año aproximadamente. Cabe destacar que en Quillagua se saca poco porque últimamente había llegado poca agua e incluso no había estado llegando el recurso hídrico. Este verano 2008-2009 se vio agua después de un tiempo en que estuvo seco. En Calama, Lasana y Chiu Chiu se ven canales rebalsados de agua porque no hay control<sup>8</sup>.

Hay conocimiento acerca de ventas que se están realizando en la cuenca del Loa, cosa que complicaría la disponibilidad del recurso. En Calama hay derechos que se han vendido a Aguas Antofagasta y también a Lomas Bayas. En Quillagua se han vendido a SQM. Estas ventas provocarán un uso más eficiente del recurso por parte de las empresas compradoras; esto comprometerá aún más la disponibilidad física del recurso<sup>19</sup>.

### **Usos no consuntivos**

Hay prácticamente un derecho de uso no consuntivo, de la empresa ENAEX, que es una empresa de explosivos, que toma agua de la vertiente Ojos de Opache<sup>9</sup>.

La disponibilidad de derechos de agua para agua subterránea debe estudiarse caso por caso según el acuífero al que corresponda la solicitud. Es así como estos estudios tienen una duración que en muchos casos puede durar más de un par de años.

### **10.4.2 Disponibilidad de derechos de aprovechamiento de agua**

El río Loa y sus afluentes fueron declarados agotados mediante la Resolución N° 197 de la DGA, con fecha 24 de enero de 2000, para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento consuntivo de ejercicio permanente (DGA 2005a). Sin embargo, su agotamiento fue reconocido de manera informal por la DGA el año 1990<sup>9</sup>.

De acuerdo a análisis efectuados se determinó que es factible constituir derechos de aprovechamiento consuntivos de ejercicio eventual aguas arriba de Quillagua sólo hasta el 11 de junio de 1999, y entre Quillagua y la desembocadura hasta el 9 de septiembre de 2002 (DGA 2005a).

No existe disponibilidad de derechos para aguas superficiales, en ninguna modalidad, en todo el río Loa y sus afluentes.

Para la constitución de derechos de agua subterráneos, debe estudiarse acuífero por acuífero. Existen derechos disponibles pero están sometidos a estudios complejos por parte de la DGA, que debe estudiar la totalidad del acuífero para tomar la decisión<sup>9</sup>. De todas maneras, no existe el dato certero de cuál es la disponibilidad actual de derechos de aprovechamiento. Gracias a las entrevistas realizadas se sabe que se está postulando a un proyecto para determinar la cantidad exacta de derechos relacionados con acuíferos del Loa y del Salar de Atacama, por ejemplo, en el cual la inversión económica será bastante elevada. En el sector de Ojos de Opache hay pequeños informes con datos pero no están definidos certeramente, al igual que en el sector de Polapi y FCAB, pero no son

<sup>19</sup> Comunicación personal con Marco Soto, ex Director Regional de Aguas, Región de Antofagasta, período 2001-2008, realizada el 11 de mayo de 2009.



más que estudios pequeños. CODELCO tiene estudios en Ojos de San Pedro, en los que se indica que no existe disponibilidad, al igual que en el sector de la minera El Tesoro. En esta minera, incluso, están restringiendo las cantidades por falta del recurso<sup>8</sup>.

### **10.4.3 Disponibilidad física del agua**

#### **10.4.3.1 Disponibilidad de agua superficial**

El agotamiento en la cuenca del Loa es de tipo legal y físico. En el caso de aguas superficiales, se observó que la disponibilidad legal del recurso es nula. Es así como los derechos se encuentran constituidos en su totalidad para toda la cuenca, por lo que un uso eficiente por parte de todos los usuarios significará un agotamiento físico en la toda la zona. Este agotamiento físico ya se puede apreciar en zonas como Quillagua donde antes existía el recurso y estos últimos años no ha llegado agua.

#### **10.4.3.2 Disponibilidad de agua subterránea**

Asociado al río Loa se encuentran una serie de acuíferos entre los que destacan los localizados en la Subcuenca media del río, cubriendo una amplia unidad hidrogeológica bajo las localidades de Chuquicamata, Salar del Indio, Pampa Llalqui y la ciudad de Calama.

Siendo una zona con escasas precipitaciones, la recarga de estos acuíferos proviene principalmente de infiltraciones desde el río Loa, de las zonas de riego y de los flujos subterráneos provenientes desde las cuencas de cabecera, y en un segundo orden se encuentran las pérdidas de la red de agua potable de las zonas pobladas de Chuquicamata y Calama.

El flujo subterráneo pasante estimado por la DGA en el sector de Calama, del orden de 700 L/s, circula mayoritariamente por el acuífero superior. Sobre este acuífero se concentra la mayor parte de las extracciones de agua, produciendo en el presente una condición de afección sobre el caudal de algunas vertientes que afloran aguas debajo de Calama, y con ello, en alguna medida, con el problema de Quillagua. El traslado de una parte de las extracciones hacia el acuífero inferior confinado, de menor o escasa conexión hidráulica con las vertientes, aparece como una modalidad de operación factible de implementar en el sector, sobre todo porque aún existe un gran número de derechos de agua subterránea que no entran en explotación y que la demanda por recursos en la zona son siempre crecientes. Lo anterior sólo podrá ser sobrellevado si se adoptan cuanto antes las medidas de seguimiento y monitoreo que permitan elevar el nivel de explotación con mayor eficiencia, tomando en consideración las particularidades del sistema hidrogeológico (DGA 2008a).

Según la Estrategia Regional de Recursos Hídricos Región de Antofagasta, posteriormente, durante el año 2009, se dictará una resolución que ordene a titulares de estos derechos de aguas subterráneas, concedidos con posterioridad a resolución DGA 763 del año 2002, instalar dispositivos de medición de flujo, e informen a la DGA sobre los datos recopilados. Este catastro ya se encuentra disponible y se está trabajando en la resolución (DGA 2008a).

## 10.5 Cuenca del Río Copiapó

### 10.5.1 Usos del agua

En la cuenca, los recursos hídricos superficiales y subterráneos tienen tres usos principales: minería, agricultura y consumo de agua potable y servicios sanitarios. La agricultura es abastecida con aguas superficiales y subterráneas. La minería y los servicios sanitarios de la población son abastecidos únicamente con aguas subterráneas. La actividad agrícola se da en los seis sectores en que se encuentra dividido el río, mientras que la minería se da en el sector 4 y 5, y los asentamientos humanos se ubican en el sector 4. El detalle de sectores y volúmenes ocupados se muestra en la Tabla 9. "En resumen, el aprovechamiento de las aguas superficiales puede estimarse en una cifra que varía entre 32,3 Hm<sup>3</sup>/año (en base a los promedios anuales de caudal de los ríos) y un máximo de 52,7 Hm<sup>3</sup>/año si se ejecutasen todos los derechos adjudicados a los canalistas durante una temporada de riego de seis meses de duración y hubiera caudal suficiente en los ríos" (Golder Associates 2006).

**Tabla 9: Usos de aguas superficiales**

Sector	Tramo	Total Acciones	Volumen anual Hm <sup>3</sup> /año (1)	Volumen anual Hm <sup>3</sup> /año (2)
1	Arriba Embalse Lautaro	1.386	1,8	1,82
2	Embalse Lautaro - La Puerta	1.902	3,6	5,53
3	La Puerta - Malpaso	3.654	14,7	10,70
4	Malpaso - Copiapó	5.148	24,8	14,22
5	Copiapó - Piedra colgada	100% del río	4,7	*
6	Piedra Colgada - Angostura	100% del río		*
	<b>Total</b>		<b>52,7</b>	<b>32,3</b>

Fuente: Golder Associates (2006).

(1) DGA 1995, 2003, considerando seis meses al año de uso de los derechos constituidos.

(2) Señor Carlos Araya, Junta de Vigilancia del Río Copiapó (JVRC), considerando caudales promedio.

Hm<sup>3</sup> = millones de metros cúbicos (52,7 Hm<sup>3</sup>/año = 52.700.000 m<sup>3</sup>/año = 1671,1 L/s)

\* Sin información disponible.

En cuanto a aguas subterráneas, la Tabla 10 muestra el volumen utilizado por cada rubro, y el número de pozos existentes para cada sector de la cuenca.

**Tabla 10: Usos de aguas subterráneas**

Sector	Riego Hm <sup>3</sup> /año	Industria Hm <sup>3</sup> /año	Minería Hm <sup>3</sup> /año	Servicios Sanitarios Hm <sup>3</sup> /año	Vol. Total Extraído Hm <sup>3</sup> /año	Total pozos (número)
1. Arriba Embalse Lautaro	0	0	0	0	0	26
2. Embalse Lautaro - La Puerta	29,3	0	0	0	29,3	45
3. La Puerta - Malpaso	41,1	2,5	0	0,8	44,4	74
4. Malpaso - Copiapó	2,4	0,5	16,7	12,6	32,1	52
5. Copiapó - Piedra Colgada	22,3	0,1	1,0*	0	23,4	67
6. Piedra Colgada - Angostura	11,0	0	0	0,1	11,2	34
<b>Total</b>	<b>106,1</b>	<b>3,0</b>	<b>17,7</b>	<b>13,8</b>	<b>140,4</b>	<b>298</b>

Fuente: Golder Associates (2006).

\* La División Monteverde de la compañía Anglo American-Chile informó a Golder Associates durante la realización de este estudio, que el aprovechamiento de recursos hídricos desde pozos en el sector Copiapó-Piedra Colgada, debido a la minería, era de 2,4 Hm<sup>3</sup>/año.



Al 2006 se contabilizaban 200 pozos para la comuna de Copiapó (9.528 L/s de caudales máximos concedidos) y otros 207 para Tierra Amarilla (11.033 L/s de caudales máximos concedidos) que equivalen a un volumen total para la cuenca de 648 Hm<sup>3</sup>/año si todos estuviesen en permanente funcionamiento. A esta cifra debe sumársele un caudal de 600 L/s (19 Hm<sup>3</sup>/año) cuyo destino sería el riego agrícola, en virtud del artículo Transitorio N° 4 de la Ley 20.017. Al año 2003, la DGA catastraba 298 pozos operativos y 144 sin uso (en construcción, abandonados, entre otros). "Cabe destacar que en el primer sector hay 26 pozos de riego que no tienen asociada información sobre volumen de explotación (según DGA 2003), aún cuando consta que estos son explotados normalmente por riego agrícola" (Golder Associates 2006).

En el informe realizado por Golder Associates (2006) el consumo anual de agua en la cuenca para la agricultura es del orden de 128 a 154 Hm<sup>3</sup>/año. Por tanto, la estimación sobre el volumen de agua que se dedica a la agricultura mediante pozos y canales (140,4 Hm<sup>3</sup>/año) se encuentra dentro del rango de valores posibles".

Los datos de DGA al 2003 indican que el aprovechamiento de agua subterránea por parte de la minería alcanza un volumen de 17,7 Hm<sup>3</sup>/año, mientras que en el estudio de Golder Associates se realiza una aproximación de usos de agua de acuerdo con las tasas de consumo de agua para los distintos procesos mineros (lixiviación, flotación) de acuerdo con las toneladas procesadas cada año. De este ejercicio sale como resultado un uso del agua por parte de la minería de entre 24 y 44 Hm<sup>3</sup>/año. Es decir, la capacidad instalada de las empresas mineras puede demandar un volumen de agua que es al menos 6 Hm<sup>3</sup>/año más de lo que indica la DGA (Golder Associates 2006).

La empresa que provee de agua potable y servicios sanitarios es Aguas Chañar S.A. El principal abastecimiento es para uso domiciliario, siendo los usos comerciales e industriales muy menores en relación con el primero. El volumen de agua facturado por la empresa fue de 18,1 Hm<sup>3</sup>/año para las localidades de Copiapó, Tierra Amarilla, Caldera y Chañaral, el cual es captado desde 21 pozos que se ubican en el tramo Malpaso-Copiapó.

La empresa tiene derechos legalmente constituidos por un monto de 1.055 L/s, equivalentes a una capacidad máxima de extracción de 33,37 Hm<sup>3</sup>/año de agua (Golder Associates 2006).

### **10.5.2 Disponibilidad de derechos de aprovechamiento de agua**

De acuerdo con información recibida por el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la Dirección General de Aguas, no existen derechos de aprovechamiento de aguas superficiales disponibles en el río Copiapó<sup>20</sup>, es decir, el río se encuentra agotado, aun cuando no se ha levantado una Declaración de Agotamiento mediante Resolución de la DGA.

Según la misma fuente, en la cuenca del Copiapó existen seis sectores hidrológicos de aguas subterráneas, de los cuales uno está declarado como Zona de Prohibición y dos están declarados como Área de Restricción.

---

<sup>20</sup> Comunicación personal con el Centro de Información de Recursos Hídricos, vía correo-e, respondida el 1 de abril de 2009.

La Resolución N° 162 de 2001 del Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DGA, MOP, alza la zona de prohibición y declara área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas en las zonas acuíferas denominadas Copiapó-Piedra Colgada y Piedra-Colgada-Desembocadura (ésta reemplaza a la Resolución DGA N° 750, del año 2000, que alzaba las mismas zonas de prohibición y restricción, pero con una falla en la delimitación de las zonas, y por eso queda sin efecto y se modifica con la Resolución N° 162 de 2001).

### **10.5.3 Disponibilidad física de agua**

#### **10.5.3.1 Disponibilidad de agua superficial**

Existen zonas en el río Copiapó, en que el cauce está completamente seco, como es el caso de la zona donde se emplaza la ciudad de Copiapó<sup>21</sup>. Si bien todavía hay algunos tramos en que se observan pequeños caudales, es una situación poco recurrente, ya que en el río Copiapó se han otorgado más derechos de aprovechamiento de agua de los que el río es capaz de ofrecer, información reconocida por distintas autoridades de la Dirección General de Aguas y otros usuarios del agua en la cuenca<sup>22</sup>.

#### **10.5.3.2 Disponibilidad de agua subterránea**

La disponibilidad física del agua subterránea no se encuentra por completo definida, hasta cuando se evalúe la recarga de los acuíferos en las zonas que se han declarado Áreas de Restricción, y donde se han entregado derechos de aprovechamiento provisionales.

## **10.6 Cuenca del Río Limarí**

### **10.6.1 Usos del agua**

El uso del agua en la cuenca del río Limarí es principalmente agrícola mostrando un caudal de 10,8 m<sup>3</sup>/s y siendo los cultivos principales las forrajeras anuales y permanentes, frutales, hortalizas, viñas y patronales viníferos, que ocupan una superficie de 80.011 ha (CADE-IDEPE 2004d). El uso que lo sigue en volumen es el de generación de energía con un caudal de 1,250 m<sup>3</sup>/s. Luego aparecen los usos: doméstico (0,31 m<sup>3</sup>/s) para las ciudades de Ovalle, los poblados de Combarbalá, Monte Patria, El Palquí, Chañaral Alto, Punitaqui y Sotaqui (DGA 2008c); industrial (0,047 m<sup>3</sup>/s), que corresponde principalmente a las plantas de producción de pisco y, finalmente, minero (0,43 m<sup>3</sup>/s) (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007a).

---

<sup>21</sup> Comunicación personal con el señor Raúl Valenzuela, Departamento de Fiscalización DGA Copiapó, 8 de junio de 2009.

<sup>22</sup> Entrevistas realizadas a: Pedro Rivera (Jefe de la División de Estudios y Planificación de la DGA, 5 de mayo de 2009); Ximena Paredes (Jefa del Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la DGA, 26 de mayo de 2009); Carlos Araya, miembro de la ONG Coordinadora por la Defensa del Agua y Medio Ambiente de la Región de Atacama, en el valle del Copiapó (26 de mayo de 2009).



## 10.6.2 Disponibilidad de derechos de aprovechamiento de agua

La cuenca del río Limarí cuenta con 466 canales y tres embalses mayores dentro de su infraestructura de riego. De 7.398 usuarios, 1.679 están organizados en tres asociaciones de Canalistas y 15 comunidades de aguas. Existen en la cuenca, tres juntas de vigilancia para los ríos Grande, Rapel y Cogotí (CADE-IDEPE 2004D).

En estos momentos no existe disponibilidad de derechos en cauces superficiales para usos consuntivos permanentes continuos y discontinuos de agua, pues el río está declarado como agotado por la DGA.

En el caso de derechos de agua subterráneos existen sectores restringidos (DGA 2008c), lo que se puede observar con detalle más adelante en la Tabla 11, donde se muestran los volúmenes sustentables por sector acuífero v/s la demanda comprometida y total.

## 10.6.3 Disponibilidad física de agua

### 10.6.3.1 Disponibilidad de agua superficial

El río Limarí se forma por la unión de los ríos Grande y Hurtado, de los cuales el primero tiene una hoya hidrográfica más de dos veces superior a la del Hurtado, y drena la parte sur de la cuenca hidrográfica del Limarí. El gasto medio estimado para el río Limarí es de 25 m<sup>3</sup>/s (DGA 2008c).

Los datos entregados por las estaciones fluviométricas de la cuenca proporcionan una visión general sobre la disponibilidad física superficial del agua, e indicarían que existe escurrimiento superficial en los cauces. Sin embargo, según entrevistas realizadas (ver **Detalle de entrevistas realizadas**), en algunos sectores de la cuenca, como el río Huatulame, en ciertas épocas del año las extracciones de agua desde el río lo secan por completo.

### 10.6.3.2 Disponibilidad de agua subterránea

Los acuíferos de la cuenca del río Limarí tienen un curso cuya dirección es igual que la de los cursos superficiales, excepto por lo que ocurre con la depresión Ovalle-Silala que, debido a su mayor extensión, presenta una mayor complejidad para analizar la dirección del flujo de agua subterráneas (DGA 2008c).

La recarga de los acuíferos del sector principalmente se produce por el aporte de precipitaciones y a las infiltraciones desde los ríos y al riego. Otras entradas de menor importancia corresponden a los aportes subterráneos de quebradas tributarias, que forman pequeños acuíferos en contacto con el acuífero principal y son muy difíciles de evaluar. Si bien los factores mencionados corresponden a fuentes de recarga, la recarga neta al acuífero es menor, debido a pérdidas por evapotranspiración, por escorrentía y por consumo de las plantas (DGA 2008c).

Para las cabeceras de cuenca, la DGA supone que la recarga proviene básicamente de la precipitación, siendo despreciables los aportes por riego u otras fuentes, lo que se

justifica dado que estas presentan bajos niveles de depósitos sedimentarios afectando la viabilidad de implementación de cultivos de riego.

Según CADE-IDEPE (2004d), la disponibilidad de aguas subterráneas de la cuenca del río Limarí por sector es la que se presenta en la Tabla 11:

**Tabla 11: Disponibilidad de aguas subterráneas en los sectores acuíferos del Limarí**

Nombre	Volumen Sustentable (VS) [m <sup>3</sup> /año]	Demanda Comprometida <sup>23</sup> (DC) [m <sup>3</sup> /año]	Demanda Total (DT) [m <sup>3</sup> /año]	Situación
Río Hurtado	1.718.712	1.533.674	2.130.398	DT > VS
Río Ponio	1.305.590	184.486	203.722	Sin problemas
Río Rapel	630.720	298.172	581.681	Sin problemas
Río Grande	4.856.544	3.588.796	3.970.603	Sin problemas
Cogotí	2.825.626	2.051.101	3.654.007	DT > VS
Combarbalá	1.296.130	1.965.161	2.899.541	DC > VS
Río Pama	1.419.120	2.637.670	3.803.241	DC > VS
Quebrada Grande	747.403	867.082	2.124.548	DC > VS
Higuerilla	665.410	719.652	1.016.090	DC > VS
El Ingenio	4.023.994	17.024.173	21.021.535	DC > VS
Río Limarí	18.464.328	23.971.800	27.396.855	DC > VS
Guatulame	7.505.568	14.337.495	18.683.534	DC > VS
Punitaqui	23.421.787	36.412.900	50.112.091	DC > VS
Limarí Desembocadura	532.958	35.320	154.368	Sin problemas

Fuente: DGA (2008c).

A partir del análisis de la Tabla 11 vemos que, de acuerdo a las demandas comprometidas y totales al 31 de julio de 2008 calculados por DGA (2008c) en cada sector, solamente en los sectores río Ponio, río Rapel, río Grande y Limarí Desembocadura, la demanda total de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas no ha superado su volumen total sustentable, por lo tanto solamente ahí sería posible entregar nuevos derechos de aprovechamiento.

<sup>23</sup> "Se entiende como demanda comprometida a la suma de todos los derechos otorgados y en trámite en términos de usos previsibles, cuya fecha de ingreso es anterior al último derecho aprobado de acuerdo al articulado permanente del Código de Aguas. Se consideró también como demanda comprometida, las solicitudes ya aprobadas de acuerdo a los artículos 4º y 6º Transitorios de la Ley 20.017 que modificó el Código de Aguas, y las solicitudes tramitadas por el artículo 4º transitorio que corresponden a aquellas presentadas por pequeños productores agrícolas y campesinos, los que se encuentran definidos en el artículo 13 de la Ley N° 18.910." (DGA 2008c)



## 10.7 Cuenca del Río Maipo

### 10.7.1 Usos del agua

En la cuenca del río Maipo, el principal uso de carácter consuntivo es el riego agrícola cuyo consumo de agua es de 82,4 m<sup>3</sup>/s, seguido de la demanda para agua potable con 18,5 m<sup>3</sup>/s y la actividad industrial con 10,4 m<sup>3</sup>/s, sin embargo, el principal usuario de agua de esta cuenca es el sector hidroeléctrico con 129 m<sup>3</sup>/s (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007a).

El sistema de riego de la cuenca del río Maipo se compone de 634 canales, 447 embalses menores y 14 embalses mayores, para una superficie regable de 132.082 ha, aproximadamente. Al año 1997 se contaba con 32.811 usuarios, de los cuales 3.187 están organizados en 37 Asociaciones de Canalistas y 37 Comunidades de Aguas. En esta cuenca están organizados como Juntas de Vigilancia la 1ª. Sección del río Maipo, las 1ª y 5ª secciones del río Mapocho y los esteros Codigua, Arrayán y Agua Fría.

La demanda por riego se puede dividir en ocho áreas, que se muestran en la Figura 3 y que corresponden a las superficies de riego que se indican en la Tabla 12:

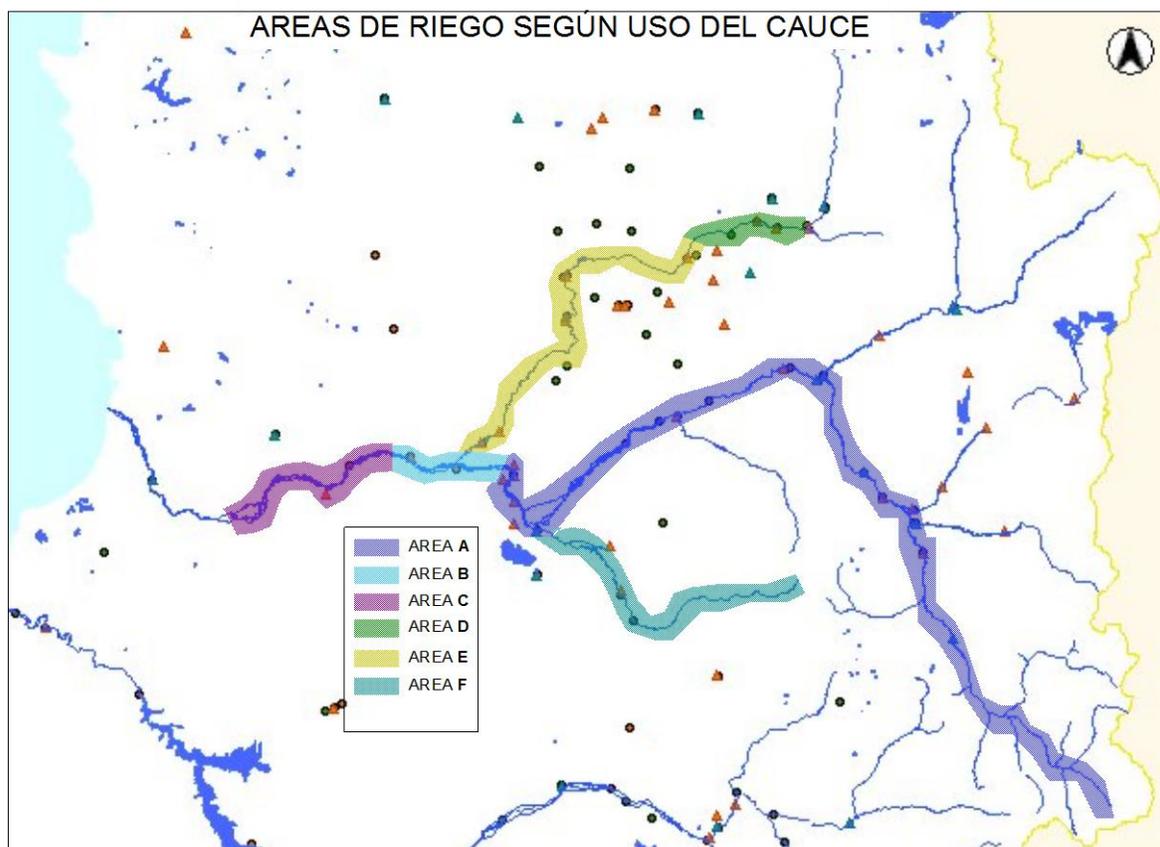
**Tabla 12: Superficies de riego por área en la cuenca del río Maipo.**

AREA	Superficie regada (ha)
A	45.236
B	16.600
C	25.433
D	1.278

AREA	Superficie regada (ha)
F	2.672
G	3.657
H	3.252
TOTAL	132.082

Fuente: DGA (2004b).

**Figura 3: Áreas de riego según uso del cauce en la cuenca del río Maipo**



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 13 se señalan las ciudades que ejercen la mayor demanda de agua para consumo humano, con una estimación de las demandas brutas estimadas para el año 2002.

**Tabla 13: Demanda bruta de agua potable en la cuenca del río Maipo**

Ciudad	Demanda (L/s)
Gran Santiago	18.598
Melipilla	113
Talagante	108
Peñaflor	188
San Antonio	176
<b>TOTAL</b>	<b>19.183</b>

Fuente: DGA (2004b).

Las principales fuentes de captación de agua potable se ubican en la laguna Negra (600 Hm<sup>3</sup>), la laguna Lo Encañado (50 Hm<sup>3</sup>), en el estero El Manzano (s/i), el estero El Canelo (s/i), el río Maipo (20,5 m<sup>3</sup>/s) y el embalse El Yeso (250 Hm<sup>3</sup>)

Cabe destacar que existe una fuente ubicada en la parte del río Maipo que abastece la zona costera, pero no se dispone de información acerca de su localización.



La demanda de agua para la producción de energía eléctrica al año 1996 se indica en la Tabla 14. Es importante señalar que hasta el presente año no se habían producido demandas importantes para este uso, situación que cambiaría al aprobarse el Proyecto Alto Maipo.

**Tabla 14: Demanda de agua para uso energético en la cuenca del río Maipo**

Nombre Central Hidroeléctrica	Propietario	Utilización de recursos	Caudal diseño (m <sup>3</sup> /s)
Queltehues	CHILGENER S.A.	Río Maipo	28,1
Puntilla	CMPC	Río Maipo	18,0
La Florida	Soc. Canal del Maipo	Río Maipo	22,0
Los Morros	Cía. Eléc. Los Morros	Río Maipo	17,0
Los Bajos y Caemsa	Carbomet Energía S.A.	Río Maipo	14,3
Total caudal utilizado según diseño en Río Maipo			99,4
El Volcán	CHILGENER S.A.	Río Volcán	9,0
Alfalfal	CHILGENER S.A.	Río Colorado y Olivares	30,0
Maitenes	CHILGENER S.A.	Río Colorado	11,0
Carena	CMPC	Río Mapocho	11,5
Planchada y La Ermita	Disputada de las Condes	San Francisco	2,0
<b>TOTAL UTILIZADO EN LA CUENCA</b>			<b>162,9</b>

Fuente: DGA (2004b).

La demanda de agua para la industria se concentra fundamentalmente en el cauce medio y superior del río Mapocho y sobre el estero Lampa. En la Tabla 15 se presenta una tabla con las estimaciones respecto del cauce intervenido (debido a que no se dispone de mayor información, no se pueden asignar estos usos a un segmento específico). Es importante indicar que tanto en entrevista con el Director Regional de la Dirección General de Aguas, como con personeros de la Asociación de Canalistas del Maipo, existe coincidencia en señalar que la demanda de agua superficial para usos industriales es, hasta cierto punto, despreciable dentro de la cuenca, siendo prácticamente toda el agua industrial proveniente de aguas subterráneas.

**Tabla 15: Demanda neta industrial de agua año 2000**

Sector	Demanda (L/s)
Río Maipo aguas arriba del Mapocho (excluido estero Angostura)	95
Esteros Angostura	16
Río Mapocho aguas arriba Zanjón de la Aguada (excluido estero Lampa)	4.857
Esteros Lampa	637
Río Mapocho aguas abajo Zanjón de la Aguada	270
Río Maipo aguas abajo río Mapocho	11
<b>TOTAL</b>	<b>5.886</b>

Fuente: DGA (2004b).



### 10.7.2 Disponibilidad de derechos de aprovechamiento de agua

El río Maipo se encuentra dividido en tres secciones que definen cuencas diferentes para el análisis de disponibilidad de agua.

#### **Primera Sección:**

Abarca desde la Cordillera de los Andes hasta el puente del ferrocarril Paine–Talagante. Esta sección corresponde a un tramo netamente de pérdidas en el cauce, sin presentar ningún tipo de recuperaciones. Estas pérdidas fluctúan entre 0,1 m<sup>3</sup>/s y 6,7 m<sup>3</sup>/s, debido a que se trata de un sector de lecho muy permeable y con un nivel de la napa subterránea bastante profundo.

Esta sección es la única de las tres que posee una organización legal, denominada 'Junta de Vigilancia de la Primera Sección del Río Maipo' la que administra y distribuye 8.133 acciones (1 acción = 20 L/s) correspondientes a derechos consuntivos permanentes, 12.577 acciones (1 acción = 15 L/s) correspondientes a derechos no consuntivos permanentes y 2.351 acciones (1 acción = 15 L/s) correspondientes a derechos consuntivos eventuales.

#### **Segunda Sección:**

Comprende desde el fin de la primera Sección hasta la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho. Sus principales afluentes son los ríos Angostura y Mapocho. Los recursos de agua de esta sección corresponden a afloramientos provenientes de la napa subterránea, y a derrames de riego provenientes de áreas regadas por el río Mapocho. Las recuperaciones fluctúan entre 4,5 m<sup>3</sup>/s y 11,0 m<sup>3</sup>/s. Esta sección no está regida por Junta de Vigilancia, contando con este tipo de organización legal sólo el río Peuco y el estero Codegua. En el caso del río Angostura, cuenta con organización legal sólo en el tramo que comprende desde Angostura (en Valdivia de Paine) hasta el sector de El Alba, donde posee la facultad de secar el río frente a la última toma (canal Hospital).

#### **Tercera Sección:**

Comprende desde la confluencia de los ríos Maipo y Mapocho, hasta el océano Pacífico. Esta sección de río no posee fuentes propias que la abastezcan y sus recursos de agua provienen principalmente de recuperaciones producto de retornos de riego, así como de excedentes aportados por el estero Puangue, más un gran número de esteros pequeños con aportes poco significativos. Las recuperaciones fluctúan entre 13 m<sup>3</sup>/s y 19 m<sup>3</sup>/s. Además, existen recuperaciones provenientes de afloramientos de napas subterráneas, estimados en 1,6 m<sup>3</sup>/s, para un año considerado seco. Esta sección de río, al igual que la Segunda, no posee organización legal constituida, aún cuando se encuentra en formación la Junta de Vigilancia de la Tercera Sección del río Maipo.

Según DGA (2003b) es posible determinar el nivel de compromiso de los recursos superficiales de la cuenca del río Maipo al año 2000 y evaluar la posibilidad de constituir nuevos derechos de aprovechamiento superficiales sin producir afecciones a derechos de terceros ni al medio ambiente. En el informe se analiza la situación de los recursos hídricos permanentes de cada una de las secciones de la cuenca del Maipo, realizado el balance hídrico correspondiente. Los resultados se resumen a continuación:

**Primera Sección:** Se concluye que en esta sección no es posible constituir nuevos derechos consuntivos, permanentes, lo que está corroborado con el hecho de que en los años secos, el río debe entrar en turno, y la Junta de Vigilancia de la sección debe



repartir los recursos, no pudiendo las asociaciones de canalistas captar la totalidad del derecho que les corresponde.

**Segunda Sección:** Se puede concluir que, a pesar de existir recursos al fin de esta sección, estos se encuentran comprometidos en la Tercera Sección, por lo cual no es posible constituir nuevos derechos permanentes consuntivos, más allá de los comprometidos.

**Tercera Sección:** Teniendo en cuenta que la disponibilidad de caudales permanentes al cierre de cada tramo es nula, se concluye que en la tercera sección del río Maipo tampoco es posible constituir derechos permanentes consuntivos, más allá de los comprometidos en esta sección.

Para el caso de los derechos eventuales se considera que los recursos son parte integrante de una misma cuenca o corriente. Debido a esto, la cuenca se analiza desde su inicio hasta su llegada al mar. En este caso existe una lista única de solicitudes donde se debe resolver por fecha de ingreso de la solicitud.

Teniendo en cuenta el balance de toda la cuenca, y dado que al cierre por agotamiento de ésta la disponibilidad es nula, se puede concluir que no es posible constituir derechos consuntivos eventuales en la cuenca del Río Maipo, más allá del expediente ND-0506-3350, dado que este expediente copa la disponibilidad de derechos eventuales en la cuenca del río Maipo.

En relación a la disponibilidad de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas, en la cuenca del Maipo se identifican 19 sectores acuíferos de aprovechamiento común, de los cuales están declarados Área de Restricción los siguientes:

- Colina Inferior (Resolución DGA N°540, 21-09-2001)
- Chicureo (Resolución DGA N°62, 23-01-2001).
- Mapocho Alto (Resolución DGA N°293 de fecha 27-07-2004. Incluye los subsectores de Las Gualtatas, Lo Barnechea y Vitacura)

Posteriormente, en el Informe técnico 166 del 20 de junio de 2005, se analiza la situación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Tilttil, Chacabuco-Polpaico, Lampa, Colina Sur, Santiago Norte y Santiago Central, con el objeto de demostrar la procedencia de declarar Área de Restricción por parte de la Dirección General de Aguas a los acuíferos mencionados

Según DGA (2004b) sólo es posible constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de definitivos para solicitudes presentadas hasta determinadas fechas que se fijaron según sector, de acuerdo a los caudales máximos posibles de otorgar, los que se detallan en la Tabla 16.

**Tabla 16: Fecha máxima a otorgar, según caudales máximos a otorgar como derechos**

Sector hidrogeológico	Fecha máxima solicitudes aprovechamiento	Caudal máximo a otorgar como derechos (L/s)
Tilttil	1 enero 1998	1.234
Chacabuco-Polpaico	1 junio 1997	11.187
Lampa	1 enero 1998	4.973
Colina sur	1 julio 1998	6.678

Santiago norte	1 marzo 1998	5.528
Santiago central	18 diciembre 1998	33.728

Fuente: DGA (2004b).

Por otra parte, se revisaron las planillas publicadas por la DGA, correspondientes a los derechos de aguas subterráneas otorgados en los años 2006, 2007 y 2008, con la finalidad de actualizar la disponibilidad de recursos hidrogeológicos para los sectores estudiados. Es necesario destacar que todos los acuíferos mencionados están declarados Área de Restricción, por lo que no debieran ser otorgados más derechos permanentes sobre estos. La Tabla 17 resume la información recogida de los archivos de DGA señalados:

**Tabla 17: Resumen derechos otorgados**

Comuna	Caudal autorizado (L/s)		
	2006	2007	2008
Isla de Maipo	35,10	253,22	131,9
Melipilla	122,66	348,98	112,6
Paine	103,74	210,6	180,64
Villa Alhue	43,29	29,68	11,1
Curacavi	108,33	72,39	59,88
El Monte	6,1	132	29,14
Maria Pinto	30,21	75,8	162,85
Padre Hurtado	14,44	115	27,1
Peñaflor	124,32	-	12,4
San Pedro	336,61	581,75	277,1
Lampa	326,78	220,7	322,02
Maipú	1716,5	1554	-
Pudahuel	311,65	114,1	100,58
TOTAL	3010,77	3708,22	1427,31
<b>TOTAL AUTORIZADO EN LOS TRES AÑOS</b>			<b>8.146,1</b>

Fuente: DGA (2009).

Estos datos determinarían que existen 6.317,22 L/s de déficit en el área de estudio, con respecto a un uso sustentable del recurso.

No obstante lo anterior, es necesario destacar que en entrevista al Director Regional de la DGA, él señaló que, efectivamente, en la actualidad se encuentran declarados técnicamente agotados casi todos los acuíferos (esta declaración técnica no constituye argumento legal, ya que para ser declarada agotada legalmente, debe existir algún requerimiento en tal sentido de algún usuario). El único acuífero con disponibilidad importante de derechos es el de Melipilla.



### 10.7.3 Disponibilidad física de agua

#### 10.7.3.1 Disponibilidad de agua superficial

En el caso de las aguas superficiales, existen estimaciones de caudales ecológicos para los 17 tramos del río Maipo, considerando que éste mantiene un flujo de agua en su cauce. Cabe señalar que la gran mayoría de los derechos de agua que se ejercen en la cuenca del río Maipo no están condicionados a respetar este caudal. El cálculo en este caso tiene como finalidad fijar las condiciones ambientales que debieran cumplir aquellas solicitudes no resueltas y que sean factibles de constituirse, y para aquellos períodos en los cuales existe caudal disponible para satisfacer los derechos constituidos y el caudal ecológico determinado. En la Tabla 18 se entrega el detalle.

**Tabla 18: Caudales ecológicos para los tramos de la cuenca del río Maipo**

Tramo de río	Cauce	Caudal ecológico (m <sup>3</sup> /s)
Entre Maipo en Las Hualtatas y Maipo en Las Melosas	Río Maipo	4,57
Entre Maipo en Las Melosas y Maipo en San Alfonso	Río Maipo	4,88
Desde río Volcán en Queltehues y confluencia con Maipo	Río Volcán	1,65
Río Yeso antes junta con el Maipo	Río Yeso	1,00
Entre Maipo en San Alfonso y Maipo en el Manzano	Río Maipo	7,00
Río Colorado antes junta con río Olivares	Río	1,59
Río Olivares antes junta con río Colorado	Río	0,92
Río Colorado antes junta con río Maipo	Río	3,12
Río Maipo entre el Manzano y el fin de la sección	Río Maipo	15,6
Río Mapocho en los Almendros	Río	0,47
Río Mapocho en Rinconada	Río	3,17
Río Angostura en Valdivia de Paine	Río	1,00
Río Maipo en Naltahua	Río Maipo	1,34
Río Maipo entre Pte. Marambio y antes de junta con el Puangue	Río Maipo	3,00
Estero Puangue antes junta con el Maipo	Estero	1,54
Río Maipo después junta Puangue hasta capt. exp. ND-5-6-558	Río Maipo	9,20
Río Maipo después de junta con el Puangue y el mar	Río Maipo	15,4

Fuente: DGA (2003b).

#### 10.7.3.2 Disponibilidad de agua subterránea

Según DGA 2004, la demanda total vigente<sup>24</sup> sobre aguas subterráneas y el déficit, respecto al caudal máximo a otorgar, de acuerdo con los argumentos técnicos presentados, se muestra en la Tabla 19.

<sup>24</sup> Se entiende por 'demanda vigente', la correspondiente a las solicitudes constituidas, en trámite y aquellas que pueden ser regularizadas a través del Artículo 2º Transitorio del Código de Aguas (Ley 17.020), descartando las solicitudes que hayan sido denegadas y aquellas regularizaciones en que no procede su regularización según lo informado al Juez.

**Tabla 19: Demanda vigente según sector y el déficit en la cuenca del río Maipo**

Sector hidrogeológico	Demanda vigente (L/s) Al 31-12-2004	Caudal máximo A otorgar como Derechos (L/s)	Déficit (L/s)
Tiltil	1.919	1.234	-685
Chacabuco-polpaico	12.425	11.187	-1.238
Lampa	7.495	4.973	-2.522
Colina sur	9.016	6.678	-2.338
Santiago norte	7.208	5.528	-1.680
Santiago central	47.539	33.728	-13.811

Fuente: DGA (2004b).

A partir de este cuadro se deduce que hay un agotamiento físico de agua en los acuíferos, lo que se corrobora al analizar los datos de los niveles de agua entre el año 1984 y la fecha del estudio citado (DGA 2004b), donde se observa que existe un descenso sostenido, demostrándose la existencia de un riesgo generalizado de los niveles estáticos en el largo plazo, que afectaría la capacidad productiva de los sectores acuíferos señalados, debido a una insuficiente recarga en relación a la explotación existente y previsible.

#### **10.7.4 Conclusión**

La cuenca del Maipo se encuentra técnicamente agotada, tanto en lo referente a aguas superficiales como subterráneas. A pesar de ello, por no haberse levantado una Declaración de Agotamiento mediante resolución de la DGA, esta institución se encuentra obligada a seguir otorgando derechos, aún cuando, por ejemplo en la parte aguas abajo del estero Puangue, las concesiones otorgadas superan en 6.300 L/s el caudal considerado sustentable.

Existe una gran interconexión entre los acuíferos de la cuenca y los cauces superficiales, por lo que cualquier consideración de uso, debiera tener presente esta situación para asegurar la sustentabilidad de los recursos.

De acuerdo a los antecedentes presentados, se concluye que no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de carácter permanente y definitivo para los sectores acuíferos de la Región Metropolitana asociados a la cuenca del río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue.

### **10.8 Cuenca del Río Maule**

#### **10.8.1 Usos del Agua**

Las principales actividades productivas de la cuenca que consumen agua son la agricultura, explotación forestal, actividad minera e industrial. El uso agrícola es el más importante de la cuenca en términos de superficie y de demanda de agua. Los principales cultivos anuales son trigo, arroz, chacras y remolacha (ésta última de forma industrial), mientras que en los cultivos permanentes destacan las viñas. En las plantaciones forestales, la principal especie es el pino radiata, que se ubica especialmente en las provincias de Constitución y Penco. La superficie plantada es de un 9,4% de la cuenca, destacándose comparativamente la superficie de bosque nativo



de la cuenca, de un 12%. El uso de suelo de tipo urbano equivale al 0,04% de la superficie total (CADE-IDEPE 2004f).

Dentro de los usos consuntivos, es decir, aquellos que “extraen o consumen en su lugar de origen”, el sector agrícola con el 98% del consumo, demandando del orden de los 3.200 millones de m<sup>3</sup>/año, los sectores industriales y de agua potable no consumen en conjunto más allá del 2%<sup>25</sup>.

Usos consuntivos:

- a) Riego: en la Tabla 20 se muestran los canales matrices que extraen agua desde cada curso superficial, y la superficie que es regada desde ellos:

**Tabla 20: Superficie regada desde ríos en la cuenca del Maule**

Fuente	Nº Canales matrices	Superficie regada (ha)
Río Maule	508	118.263
Río Claro	104	20.938
Río Loncomilla	14	448
Río Longaví	103	21.672
Río Putagán	147	6.950
Río Ancoa	90	1.958
Río Achibueno	245	16.440
Río Perquilauquén	179	5.678
Río Ñiquén	140	4.569
<b>Total</b>	<b>1.530</b>	<b>196.916</b>

Fuente: CADE-IDEPE (2004f).

Además del agua extraída desde estos ríos, “existen tres conjuntos de obras de infraestructura de regadío que captan, conducen y distribuyen recursos de agua”, los que son:

- “Sistema Melado: permite trasvasar recursos de agua desde el río Melado, afluente del río Maule, a los ríos Ancoa, Putagán y Achibueno, para reforzar y otorgar seguridad de riego a las áreas situadas bajo la influencia de los ríos mencionados.
  - Sistema Melozal: distribuye recursos para el riego de valle Melozal, situado al poniente del río Loncomilla. Su cauce principal, el estero Manantiales, drena hacia el río Maule.
  - Sistema Digua: utiliza recursos de tres afluentes, ríos Longaví, Cato y Perquilauquén, para abastecer y mejorar la seguridad de riego de una zona extensa ubicada en el límite sur de la cuenca del Mule” (CADE-IDEPE 2004f).
- b) Captación para agua potable: contempla la utilización en las plantas de tratamiento para abastecer tanto la demanda residencial como la industrial.
- c) Actividad industrial: hasta 1996 funcionaban alrededor de 40 industrias en la cuenca, las que mayoritariamente se dedicaban al rubro alimenticio, en la elaboración y tratamiento de productos agrícolas. También se destaca la Celulosa Arauco y Constitución S.A. que toma aguas en el Maule, cerca de la

<sup>25</sup> Comunicación personal con señor Pedro Bravo, SEREMI Ministerio de Obras Públicas Región del Maule, vía correo-e.

desembocadura. La Tabla 21 muestra los rubros industriales localizados en la cuenca y sus respectivas demandas de agua para el año 1996:

**Tabla 21: Demanda de agua para industrias en la cuenca del Maule**

Rubro	Demanda bruta (L/s)			
	Subcuenca río Perquilauquén	Subcuenca río Loncomilla	Subcuenca río claro	Subcuenca río Maule bajo
Producción de vinos y licores	-	-	8	-
Procesamiento de carnes	< 1	-	9	-
Alimentación y agroindustrias	2	666	101	-
Embotelladoras y cervecerías	-	-	10	-
Fabricación de papel y celulosa	-	-	24	444
Otros	-	4	7	< 1
<b>Total</b>	<b>2</b>	<b>670</b>	<b>159</b>	<b>444</b>

Fuente: CADE-IDEPE (2004f).

- d) Actividad minera: el estudio de CADE-IDEPE (2004f) al igual que (Ayala, Cabrera y asociados Ltda. 2007b) indican que existe actividad minera en la zona que no utilizaría agua.
- e) Biodiversidad: corresponde a la protección y conservación de comunidades acuáticas en las áreas pertenecientes al SNASPE y a los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad identificados por CONAMA (CADE-IDEPE 2004f).

El principal usuario de agua de tipo no consuntivo corresponde a la generación de energía eléctrica que demanda del orden de los 700 m<sup>3</sup>/s<sup>26</sup> lo que concuerda con los valores que hasta el año 1996 demandaban las centrales hidroeléctricas construidas en la cuenca del Maule según muestra la Tabla 22:

**Tabla 22: Centrales hidroeléctricas y su demanda de agua, en la cuenca del río Maule**

Central	Potencia instalada (MW)	Utilización de recursos	Caudal medio anual (m <sup>3</sup> /s)	Tipo de central
Cipreses	101	Río Cipreses	22	Embalse
Isla	68	Ríos Análisis y Maule	69,4	Pasada en espuela
Pehuenche	500	Ríos Maule y Melado	196	Embalse
Colbún	400	Río Maule	193	Embalse
Machicura	90	Aguas de central Colbún	193	Embalse
Curillínque	85	Río Maule	66,5	Pasada
Loma Alta	38	Río Maule	-	Pasada
San Ignacio	37	Río Maule	-	Pasada

Fuente: CADE-IDEPE (2004f).

Los usos *in situ* entendidos como "aquellos que ocurren en el ambiente natural de la fuente de agua" en la cuenca del Maule, son (CADE-IDEPE 2004f):

- Acuicultura: se refiere a explotación de recursos hidrobiológicos informada por la Subsecretaría de Pesca en el cauce mismo, pues las que se hacen fuera del cauce son tomadas como actividad industrial. Si bien el estudio dice que se realiza esta

<sup>26</sup> Comunicación personal con señor Pedro Bravo, SEREMI Ministerio de Obras Públicas Región del Maule, vía correo electrónico.



actividad, al referirse a la pesca deportiva dice que “en la cuenca del río Maule se encuentran las pisciculturas de la zona de La Suiza, Laguna Las Termas y estero Perquín”.

- Pesca deportiva y recreacional.
- Caudal ecológico: para esta cuenca no existe una determinación de caudal ecológico<sup>14</sup>.

### **10.8.2 Disponibilidad de derechos de aprovechamiento de agua**

De acuerdo a las entrevistas realizadas en la zona a miembros de instituciones públicas y de organizaciones de usuarios de aguas, en la cuenca del río Maule legalmente se pueden solicitar nuevos derechos de aprovechamiento puesto que es dicho río no ha sido declarado legalmente agotado, pero administrativamente no hay posibilidad de obtener nuevos derechos puesto que la junta de vigilancia del río constantemente presenta oposiciones a las solicitudes de nuevos derechos, ya que estos serían perjudiciales para los derechos ya constituidos.

### **10.8.3 Disponibilidad física de agua**

#### **10.8.3.1 Disponibilidad de agua superficial**

El régimen del río Maule varía dependiendo de su tramo; en la zona cordillerana es nivopluvial, adopta un régimen mixto en la parte media y luego de la junta con el río Loncomilla adopta un régimen pluvial debido a que tanto el Loncomilla como el Claro, principales afluentes del río principal, tienen aquel régimen (CADE-IDEPE 2004f). Según la información obtenida a partir de las entrevistas, no se reconocen sectores ni cuerpos de agua que presenten agotamiento, lo que se explica por la regulación que existe en esta cuenca, en que para el sector riego la capacidad de almacenamiento se estima en 1.375 Hm<sup>3</sup>, mientras que para el sector hidroeléctrico la capacidad de acopio asciende a 2.455 Hm<sup>3</sup>.

#### **10.8.3.2 Disponibilidad de agua subterránea**

La cuenca hidrogeológica del Maule se extiende entre las latitudes 35°05' Sur y 36°30' Sur. El acuífero está asociado al derretimiento de nieves y corre en dirección este a oeste, siguiendo los cursos de agua de los ríos Maule y Melado o Guaiquivilo. Otros acuíferos se originan desde la precordillera andina y drenan paralelos a cursos superficiales. “La gran masa de agua subterránea al encontrarse con el batolito costero, es drenada hacia el océano siguiendo un curso paralelo al río Maule”. Desde el norte, un acuífero importante procede desde el sector del río Claro en dirección al Maule, y desde el sur, un acuífero mayor proviene desde el río Ñiquen en dirección sur a norte hasta las cercanías del principal río de la cuenca (CADE-IDEPE 2004f).

En esta cuenca se estima que el volumen de aguas subterráneas disponible para explotación asciende al orden de los 1.200 millones de m<sup>3</sup>/año con una recarga del orden de 2.140 millones de m<sup>3</sup>/año<sup>14</sup>, muy por debajo de los 950 millones m<sup>3</sup>/año en que se estiman las extracciones.

## 10.9 Cuenca del Río Biobío

### 10.9.1 Usos del agua

En la cuenca los principales sectores demandantes de agua son la agricultura, el sector forestal, la industria y la producción de agua potable.

La demanda de agua para riego está principalmente localizada en el valle central, en el territorio correspondiente a la Provincia de Biobío, presentando los mayores requerimientos en el período de octubre a marzo. El caudal demandado en la cuenca alcanza los 171 m<sup>3</sup>/s durante la estación de riego (Proyecto TWINBAS, D1.2 2005).

Por otra parte, la demanda por agua potable es mayor en el valle central y cerca de la desembocadura del río Biobío, donde están localizados los principales centros urbanos. El caudal captado para agua potable está cuantificado en aproximadamente 2,5 m<sup>3</sup>/s (Parra *et al.* 2004) y su distribución está estimada de la siguiente manera: 63% en la cordillera de la Costa y área costera; 30% en el valle central y 7% en el sector andino. Una gran parte de las localidades ubicadas en el valle central son abastecidas por aguas subterráneas (Proyecto TWINBAS, D1.2 2005).

La demanda industrial, estimada en 26,33 m<sup>3</sup>/s por Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b), está principalmente localizada en la parte media y baja de la cuenca. Más de 50 industrias utilizan agua proveniente de la hoya para sus procesos productivos. Del caudal consumido por el sector industrial, cerca del 90 % es captado entre la cordillera de la Costa y el área costera, el 5% restante es consumido en el valle central. Respecto al tipo de industria de la celulosa y papel, más la industria petroquímica representan más del 70% del total demandado (Proyecto TWINBAS, D1.2 2005).

En la Tabla 23 y la Tabla 24 están representados los caudales captados desde el río Biobío por los principales demandantes de agua.

**Tabla 23: Caudal captado por los principales demandantes de agua en el río Biobío**

Sector demandante	Caudal captado del río Biobío (m <sup>3</sup> /s)
Riego	158,5
Industrias	10,8
Agua potable	2,5

Fuente: Parra *et al.* (2004).

**Tabla 24: Proporción del caudal captado por las principales industrias del río Biobío**

Industria	Proporción de caudal captado (%)
ENAP	32.3
Huachipato	14.8
Laja	8.1
Pacífico	6.4
Inforsa	2.8
Norske Skog	1.5
Gacel	0.0
ESSBIO	23.1

Fuente: Parra *et al.* (2004).

En relación a los usos no consuntivos, en esta cuenca corresponde al uso para la generación hidroeléctrica, acuicultura y algunos otros tipos industriales. La demanda



desde las centrales hidroeléctricas y el sector acuícola está principalmente situada en el sector del Alto Biobío y en las subcuencas de los ríos Laja y Duqueco.

El aprovechamiento hidroeléctrico del río Laja consiste en la utilización, con fines energéticos, de las aguas provenientes de la hoya hidrográfica del curso superior del río, en la zona comprendida entre su nacimiento y las bocatomas de los primeros canales de riego, ubicados aguas arriba del pueblo de Antuco. Las instalaciones que aprovechan las aguas del río Laja, son las centrales de Abanico, El Toro, Antuco, Peuchén, Mampil y Rucue (pertenecientes a Colbún S.A.), las obras de captación del Alto Polcura y las obras de regulación del Lago Laja (CADE-IDEPE 2004g).

La central hidroeléctrica Pangué, ubicada 100 km al oriente de la ciudad de Los Ángeles, utiliza las aguas del río Biobío mediante un embalse artificial. La potencia de esta central es de 467 MW y posee un caudal de 500 m<sup>3</sup>/s. En el año 1996 fue puesta en servicio. El volumen total del embalse es de 165 millones de metros cúbicos. Otra central de envergadura es la central Ralco, la cual se ubica en el curso superior del río Biobío, a 16 km aguas arriba del muro de la presa de la Central Pangué. La central tiene un caudal de 368 m<sup>3</sup>/s y una potencia de 570 MW. El volumen total del embalse es de 1222 Hm<sup>3</sup> (CADE-IDEPE 2004g). La demanda actual estimada para la cuenca del río Biobío es de 1.015.000 m<sup>3</sup>/s (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007b).

### 10.9.2 Disponibilidad de derechos de aprovechamiento de agua

Hasta la fecha, dentro de la hoya del río Biobío, la única subcuenca que se ha declarado agotada es la del río Laja y sus afluentes entre sus nacientes y la bocatoma del canal Siberia (Decreto N° 1898; Ref 1-233-11 decretado el 25 de agosto de 1952). Para el resto de la cuenca, la DGA indica la existencia de disponibilidad para derechos eventuales y no consuntivos existiendo en trámite un número considerable de solicitudes (Tabla 25). Respecto a los derechos consuntivos no existe disponibilidad para los meses de febrero y marzo, considerándose la cuenca agotada para dichos tipos de derechos<sup>27</sup>.

En el estudio "Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Biobío" (DGA 2004), se realizó un catastro de las solicitudes de derechos de agua de la cuenca del río Biobío ingresadas a la DGA hasta Junio de 2002. En este catastro se consideró la totalidad de los derechos en los Libros de Registro, así como en las Cartolas de la DGA, el Catastro Público de Aguas, Subsistema Expedientes desde 1980. El catastro de las solicitudes de la región de la cuenca del Biobío fue levantado por la respectiva Dirección Regional. Luego de realizado el catastro y con la información correspondiente a caudales medios mensuales de la totalidad de las estaciones fluviométricas controladas por la DGA, se determinó la disponibilidad de caudal a nivel de tramo de río con el objetivo de estimar los caudales máximos factibles de otorgar.

---

<sup>27</sup> Comunicación personal con el señor Ramón Daza, Director Regional de Aguas, Región del Biobío, 18 de mayo de 2009.

**Tabla 25: Caudales de las solicitudes en trámite por subcuenca, en la cuenca del río Biobío**

Subcuenca	Tipo de derecho (m <sup>3</sup> /s)	
	Consuntivos	No consuntivos
Laja bajo	0,18	683,90
Río Biobío Alto (hasta después junta Río Lamín)	0,05	5,01
Río Biobío Bajo	0,96	30,49
Río Biobío entre río Duqueco y Vergara	0,43	1212,30
Río Biobío entre Río Ranquil y Río Duqueco	5,19	3237,76
Río Biobío entre Río Vergara y Río Laja	7,68	511,00
Río Duqueco	0,07	114,89
Río Laja Alto (hasta bajo junta Río Ruque)	----	2246,77
Río Renaico	----	----
Río Malleco y Vergara	3,65	2,00
<b>Total</b>	<b>18,21</b>	<b>8044,12</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta al sitio web de DGA<sup>28</sup>.

Según la DGA, no existen estudios que permitan estimar la disponibilidad de agua subterránea en la cuenca, lo que repercute finalmente en la imposibilidad de estimar la disponibilidad de derechos de agua a constituir. No obstante, cabe dejar constancia que hasta la fecha no se ha establecido ninguna restricción o limitación a la adquisición o ejercicio de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca, situación que podría variar en cualquier instante sin que a ese respecto exista ulterior responsabilidad de esta repartición ni derecho alguno para los interesados que se origine.

Adicionalmente, es importante indicar que la mayoría de las captaciones subterráneas son de carácter somero y son básicamente para abastecimiento doméstico<sup>15</sup>.

### 10.9.3 Disponibilidad física de agua

#### 10.9.3.1 Disponibilidad de agua superficial

No existe ningún problema de disponibilidad física de agua en ningún sector de la cuenca, es decir se mantiene un flujo o almacenamiento de agua en todos los sectores de los cuerpos superficiales de la cuenca. Al respecto, gran parte del agua que se utiliza se extrae del cauce principal, el cual tiene los mayores caudales de agua de la cuenca. Por otra parte, en el río Laja, los mayores usos se encuentran en la parte alta del río, por lo que no existen problemas deficitarios<sup>29</sup>.

#### 10.9.3.2 Disponibilidad de agua subterránea

Como se indicó anteriormente no existen estudios que permitan estimar la disponibilidad física de las aguas subterráneas dentro de la cuenca. Sin embargo, se ha estimado de manera informal, que existe disponibilidad suficiente de agua debido a la baja explotación a la cual han sido sujetos dichos recursos<sup>15</sup>.

<sup>28</sup> Módulo 'Derechos de agua concedidos'. Consulta realizada en mayo de 2009. Disponible en: <http://www.mop.cl/dga-WebModule/common/frame-main.jsp>

<sup>29</sup> Comunicación personal con el Dr. Oscar Parra, Director del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. 19 de mayo de 2009.



## 10.10 Cuenca del Río Baker<sup>30</sup>

### 10.10.1 Usos del agua

Dentro de los usos del agua en la cuenca, es posible diferenciar tres categorías: usos asociados a derechos de aprovechamiento de agua, aprovechamientos de hecho y usos *in situ*. La situación de cada una de ellas se presenta a continuación.

Entre los usos para los cuales han sido solicitados los derechos de tipo consuntivo, destaca la agricultura con más del 60% de los caudales, seguida por la minería con el 25% de los mismos; el uso doméstico-agrícola abarca poco menos del 1% (ver Tabla 26 y Tabla 27).

**Tabla 26: Distribución de derechos de tipo consuntivo según uso**

Tipo de Derecho	Derechos		Titulares		Caudal	
	Nº	%	Nº	%	m <sup>3</sup> /s	%
Agrícola	54	45,38	23	45,10	1.952,07	61,57
Agua Potable	17	14,29	3	5,88	201,78	6,36
Doméstico/Agrícola	16	13,45	10	19,61	19,83	0,63
Minería	9	7,56	1	1,96	815	25,70
No indica	23	19,33	14	27,45	182	5,74
<b>Total</b>	<b>119</b>	<b>100</b>	<b>51</b>	<b>100</b>	<b>3.170,68</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta al sitio web de DGA<sup>31</sup>.

Los derechos no consuntivos, por su parte, han sido solicitados mayoritariamente con fines de generación de energía hidroeléctrica. En segundo lugar de importancia, con magnitudes muy inferiores al anterior, se encuentra el uso acuícola (Tabla 27). Cabe destacar, sin embargo, que ninguna de estas dos actividades se está desarrollando actualmente en la cuenca.

**Tabla 27: Distribución de derechos de tipo no consuntivo según uso**

Uso	Derechos		Titulares		Caudal	
	Nº	%	Nº	%	m <sup>3</sup> /s	%
Electricidad	25	78,13	9	56,25	1.943,9	99,93
Acuicultura	3	9,38	3	18,75	0,756	0,039
Medicinal	1	3,13	1	6,25	0,009	0,0005
No indica	3	9,38	3	18,75	0,504	0,026
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100</b>	<b>16</b>	<b>100</b>	<b>1.945.253,83</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta al sitio web de DGA<sup>20</sup>.

<sup>30</sup> La información de este capítulo fue complementada también por entrevistas realizadas a: Fabián Espinoza Castillo, Director Regional DGA Aysén; José Pablo Saez Villouta, Director Regional CONAMA Aysén; Giovanni Queirolo Palma, jefe de la oficina regional de la SISS Aysén; Marco Salgado, Comunidad de Aguas Chile Chico; Luis Hansen, Comité de Regantes de Bahía Jara.

<sup>31</sup> Módulo 'Derechos de agua concedidos'. Consulta realizada en mayo de 2009. Disponible en: <http://www.mop.cl/dga-WebModule/common/framemain.jsp>

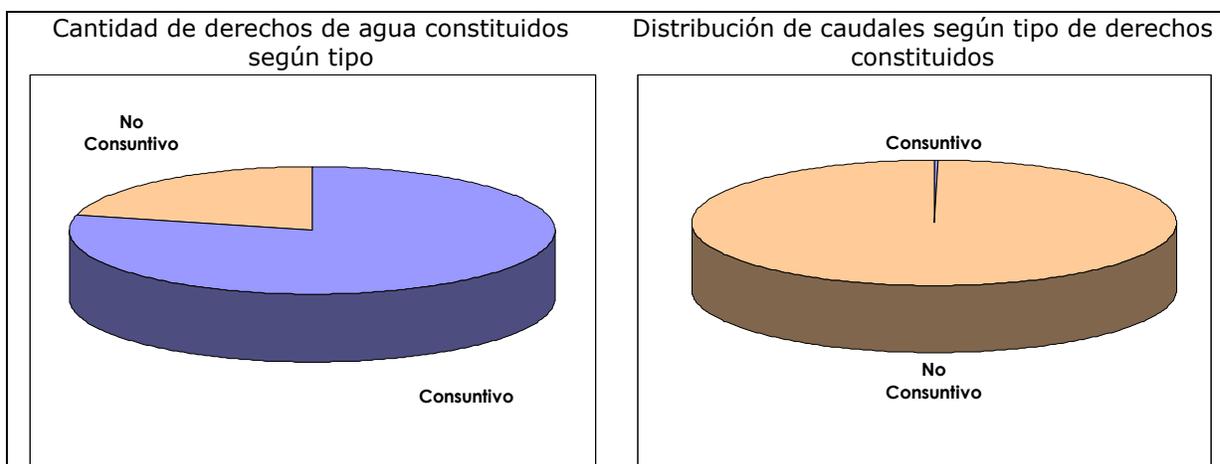
### 10.10.2 Disponibilidad de derechos de aprovechamiento de agua

Actualmente existen 151 derechos de aprovechamiento de agua constituidos en la cuenca, distribuidos entre 63 titulares. Estos derechos abarcan un caudal permanente de casi 2.000 m<sup>3</sup>/s y un caudal eventual de casi 34 m<sup>3</sup>/s. A continuación se presenta su clasificación según tipo (consuntivo versus no consuntivo) y escurrimiento (superficial versus subterráneo).<sup>32</sup>

#### Consuntivo versus No Consuntivo

Si bien existe una mayor proporción de derechos de tipo consuntivo, casi la totalidad de los caudales otorgados en la cuenca corresponden a derechos no consuntivos (ver Figura 4).

**Figura 4: Derechos de agua según tipo versus su distribución en los caudales.**



Fuente: Elaboración propia en base a Tabla 28.

En la Tabla 28 se presenta la distribución de derechos de agua constituidos según tipo, y los caudales asociados a cada tipo de derecho.

**Tabla 28: Distribución de derechos de agua constituidos según tipo y caudal.**

Tipo de Derecho	Derechos		Titulares		Caudal	
	Nº	%	Nº	%	m <sup>3</sup> /s	%
Consuntivo	119	78,95	51	80,95	3,17	0,16
No Consuntivo	32	21,05	16	25,40	1.945	99,84
Total	151	100	63 <sup>33</sup>	--	1.948	100

Fuente: Elaboración propia a partir de consulta al sitio web de DGA<sup>20</sup>.

<sup>32</sup> Esta clasificación se realizó en base a los caudales permanentes asociados a los derechos constituidos.

<sup>33</sup> Esta cifra corresponde al número total de titulares de derechos de agua identificados en la cuenca, que no coincide con la suma de los titulares de derechos consuntivos y no consuntivos debido a que existen dos titulares que poseen derechos de ambos tipos.



### 10.10.3 Disponibilidad física de agua

#### 10.10.3.1 Disponibilidad de agua superficial

En el informe preliminar "Determinación del potencial hidroeléctrico XI Región y Provincia de Palena X Región" (DGA 2007), realizado por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas se determinó la disponibilidad de caudal en cada punto definido en el estudio, en la cuenca del río Baker. Los caudales promedio mensuales disponibles se presentan en la Tabla 29:

A modo de aclaración, en cada punto de interés se restaron los requerimientos del recurso aguas arriba de ellos (derechos consuntivos) y el caudal ecológico. Los requerimientos y el caudal ecológico son restados con el fin de obtener el caudal disponible en el punto estudiado.

**Tabla 29: Caudal promedio mensual disponible en diferentes puntos dentro de la cuenca del río Baker**

Puntos de interés	Disponibilidad de agua promedio mensual	
	Caudal permanente	Caudal eventual
	m <sup>3</sup> /s	
Río Baker bajo Ñadiz	740,53	389,65
Estación Río Baker en Colonia	569,26	691,51
Río Baker bajo Angostura Chacabuco	411,32	490,97
Río Ñadiz aguas arriba de estación Río Ñadiz antes jta. Baker	20,19	15,10
Río el Salto bajo Junta estero el Saltón	21,32	16,70
Río Murta aguas arriba de la Desembocadura	34,24	63,98
Río Ibañez Antes Junta Estero Portezuelo	29,24	48,08
Río Ibañez en Villa Cerro Castillo	67,02	110,80

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b).

De acuerdo a la información presentada, se puede inferir que en la cuenca no habría problemas de disponibilidad del recurso agua, ni en el aspecto físico ni legal.

#### 10.10.3.2 Disponibilidad de agua subterránea

En lo referente a las aguas subterráneas, no se cuenta con un inventario de los acuíferos de la cuenca, ni hay información disponible respecto a los cuerpos de agua superficial asociados a napas.

Del total de derechos consuntivos otorgados, sólo cinco corresponden a aguas subterráneas, abarcando un caudal permanente de 4,8 L/s<sup>34</sup>.

<sup>34</sup> Comunicación personal con Camila Teutsch, DGA Región de Aysén, implementación de la Estrategia de Gestión Integrada de Cuencas en el río Baker, realizada el 22 de mayo de 2009.

## 10.11 Conclusiones sobre la disponibilidad de agua

### 10.11.1 Disponibilidad de información

En primer lugar, es importante mencionar que los estudios donde la DGA determina la disponibilidad de recursos hídricos, no están elaborados para todo el país, especialmente en la zona sur, ya que la prioridad hasta el momento ha sido evaluar los recursos en la zona norte donde existe mayor escasez.

Por otro lado, la información que actualmente existe no es de fácil acceso para cualquier usuario que se interese en conocer sobre la disponibilidad del recurso hídrico en Chile, ya que los estudios no están sistematizados de manera clara y centralizada. Se esperaría que un tema tan relevante como éste fuese fácil de encontrar en el sitio web de la DGA o bien en su centro de documentación. En esta investigación la búsqueda resultó ser fragmentada y se pudo acceder a la información gracias al apoyo de los profesionales de la DGA.

Siendo este recurso tan esencial, esta información debiera estar sistematizada territorialmente y así facilitar que sea usada a nivel local, por las asociaciones de usuarios de agua, municipalidades, entre otros. No obstante lo anterior, actualmente la DGA se encuentra trabajando para actualizar y sistematizar esta información, por lo que se espera que este inconveniente estuviera solucionado en el corto plazo.

### 10.11.2 Disponibilidad del agua en cuencas piloto

En las cuencas piloto evaluadas en este estudio, los resultados pueden resumirse a través de la siguiente tabla:

Cuenca	Disponibilidad legal		Disponibilidad física	
	Aguas superficiales	Aguas subterráneas	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
Lluta	Agotada	Prohibición	Existe escurrimiento superficial, excepto en ciertos tramos donde no hay agua entre los meses de octubre a diciembre	Existe disponibilidad, pero estaría disminuyendo por la mala calidad de las aguas superficiales
Loa	Agotada	No hay información actualizada	En algunos sectores (como Quillagua) ya no existe escurrimiento superficial	Sobreexplotación
Copiapó	Agotada	Prohibición	Cauce seco en algunos tramos del río.	Demanda superior a la recarga del acuífero. Sobreexplotación.
Limarí	Agotada	Restringido	Sin información concluyente	En el 70% de los sectores acuíferos la demanda supera la recarga. Sobreexplotación



Cuenca	Disponibilidad legal		Disponibilidad física	
	Aguas superficiales	Aguas subterráneas	Aguas superficiales	Aguas subterráneas
Maipo	Agotado en sus tres secciones	Mayoritariamente, de prohibición y restricción.	Normalmente los cauces conducen agua, se estima caudal ecológico. Hay tramos completamente intervenidos que secan el cauce	Acuíferos con demandas mayores a la recarga. Algunos acuíferos con disponibilidad.
Maule	Disponible-con oposición	Disponible-con oposición	Disponible	Disponible
Biobío	Agotada en el río Laja	Disponible	Disponible	Disponible
Baker	Disponible	Sin información	Disponible	Sin información

Fuente: Elaboración propia.

Luego del análisis realizado en las ocho cuencas piloto, el escenario actual de disponibilidad de agua resulta ser crítico en relación a la demanda de los sectores productivos y no productivos. En algunos casos la disponibilidad de agua está limitada desde el punto de vista legal, y en otros el consumo ha superado la oferta natural de las fuentes de agua generando una limitación en la disponibilidad física que trasciende a los intereses de los sectores productivos, afectando a los ecosistemas que dependen del flujo o acumulación de agua en los cauces naturales.

La gran mayoría de las cuencas de este estudio, desde el río Maule al norte, presentan una disponibilidad de agua restringida o nula, dado que la DGA ha determinado que no existe agua para otorgar más derechos de aprovechamiento a través de estudios de disponibilidad o a través de resoluciones oficiales de agotamiento de las aguas superficiales, o resoluciones de restricción y prohibición en aguas subterráneas. Así también, los usuarios han utilizado sus facultades para oponerse a la solicitud de nuevos derechos de aprovechamiento.

Desde el punto de vista físico, las cuencas de la zona centro norte muestran cuerpos de agua en condiciones de agotamiento, tanto superficiales como subterráneos, lo que se traduce en una restricción natural en la disponibilidad.

Las situaciones más críticas se presentan en las cuencas de río Loa y en la del río Copiapó, donde los recursos hídricos otorgados a través de los derechos de aprovechamiento son mayores a la oferta natural que existe en cada una de estas cuencas. Esta situación se agrava dada la rigidez del derecho a uso del agua puesto que en algunos casos lo que se entrega es un derecho a extraer un caudal fijo y continuo que no respeta la variabilidad natural de las fuentes a lo largo del año ni la variabilidad interanual, por lo que, en períodos de sequía, la escasez se ve agudizada por la sobredemanda.

Si bien estos problemas de disponibilidad actual de agua que afectan a los usuarios productivos y a los usos *in situ* (como la demanda ecosistémica), son una realidad en las cuencas del centro norte, en las cuencas del sur, a pesar de tener condiciones climáticas más favorables en términos de oferta de agua, empiezan a experimentar situaciones



conflictivas por mayor competencia por el uso del agua, como es el caso del río Laja que debió ser declarado agotado.

La exactitud que las evaluaciones de disponibilidad de agua de la DGA puedan alcanzar son relevantes, ya que a partir de ellas es que se determina el número de derechos de aprovechamiento que se pueden otorgar en un cauce o acuífero, o bien, si es necesario dejar de otorgarlos definitivamente; considerando que, una vez otorgados los derechos se vuelven irrevocables y no pueden ser pedidos de vuelta por la DGA, un error de evaluación puede llegar a hacer una gran diferencia, e incluso contribuir en el agotamiento del agua.

Es importante señalar que en algunas cuencas o subsectores de las mismas, los estudios que se han desarrollado para determinar la disponibilidad, fueron realizados posteriores a la constitución de los derechos de aprovechamiento, lo que explica en cierta medida la situación de sobreexplotación que experimentan.

La DGA, por ley, no puede negarse a otorgar nuevos derechos de aprovechamiento a menos que la fuente de agua esté declarada agotada, situación que ha permitido que, en algunos casos, se hayan constituido nuevos derechos de aprovechamiento en zonas donde se reconoce la escasez, agudizando así la situación de sobre explotación. De cualquier manera, los esfuerzos actuales están enfocados a evitar este tipo de situaciones, no otorgando derechos de aprovechamiento en aquellos cauces o acuíferos donde los estudios técnicos hayan indicado que no existe caudal que lo sustente.

Finalmente, a pesar de que existe un método para determinar objetivamente la disponibilidad de aguas superficiales y subterráneas de una cuenca, el concepto de disponibilidad es en cierto modo discutible, ya que la lógica que se usa (y la obligación institucional de la DGA) es entregar toda el agua del río para su uso. Esta lógica no recoge la dinámica de un río, particular para cada cauce, que determina que a lo largo de su trayecto se recargue mediante rebalses de los sistemas de regadío, aportes de vertientes, afluentes y recuperaciones, entre otros. Bajo esta mirada, sería posible señalar que no hay disponibilidad superficial de agua, no obstante exista un caudal que llegue al mar.



## **11 PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA POR CUENCA EN CHILE**

La disponibilidad hídrica corresponde al volumen de agua que escurre o se almacena en los cauces de los ríos y otros cuerpos de agua y, en términos generales, corresponde a la diferencia entre el agua precipitada sobre la cuenca y los volúmenes que son evapotranspirados o interceptados e infiltrados por el suelo y la cobertura vegetal (Maidment 1993).

Usualmente el volumen de agua que escurre por los ríos es denominado en términos hidrológicos como escorrentía superficial y su cuantificación es el elemento principal de medición de las estaciones de medición hidrológica como las utilizadas por la Dirección General de Aguas en las distintas cuencas del país.

Tal como se menciona más adelante, en la sección dedicada a la estimación de caudales, una de las grandes debilidades del sistema actual de determinación de disponibilidad de agua es que en las estaciones de medición las observaciones son discretas (en tiempo y en espacio) y por lo tanto, para la definición de la oferta hídrica superficial total en forma continua es necesario recurrir a técnicas de generalización de la escorrentía superficial que también tienen sus limitaciones<sup>35</sup>. En este sentido, la situación óptima sería aquella en que se utilicen distintos métodos de interpolación dependiendo de la cantidad y calidad de la información disponible en las estaciones de medición y las características del método de interpolación.

Otro factor que agrega complejidad a la medición es el hecho de que la escorrentía es influenciada, además del régimen climático, por las características orográficas de la cuenca y por lo tanto, lo óptimo es formar áreas de interpolación homogéneas desde el punto de vista de esta característica.

Por último, un importante componente adicional de incertidumbre incorporado en el método utilizado por la DGA para estimar disponibilidad, está relacionado con los errores asociados a la determinación de los montos de precipitación y evapotranspiración real y potencial en la cuenca bajo análisis. Existe una gran variedad de métodos para la determinación de la evapotranspiración potencial y real (Budyko, Turc, Penman, por ejemplo) y en cada caso se debe escoger el método que mejor represente las condiciones físicas y geográficas de la zona en estudio y para el cual exista la información requerida (Schulze 1995).

La presente propuesta se basa en el análisis de un extracto del "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos" (DGA 2008d). A partir de éste, se evalúan los procedimientos metodológicos para la estimación del balance hídrico asociado a la disponibilidad de aguas superficiales, y se proponen mejoras en aquellos puntos donde se considera que existen elementos perfectibles en el método descrito. En el caso de las aguas subterráneas, que según el análisis presentan menos debilidades metodológicas, se discute sobre la información para alimentar los modelos de aguas subterráneas.

---

<sup>35</sup> Comunicación personal con el señor Adrián Lillo, Ingeniero del Departamento de Estudios de la DGA. Entrevista realizada el 15 de Junio de 2009.



## 11.1 Aguas superficiales

En relación a las aguas superficiales se considera que es factible mejorar los siguientes aspectos en la determinación de la disponibilidad de agua:

### 11.1.1 Escala de estimación

El Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (DGA 2008d), que indica de manera oficial el cómo se debe proceder para la determinación de la disponibilidad de agua, señala que la metodología corresponde a la generación de un balance hídrico, es decir un balance entre las entradas a un sistema y las salidas de éste en un tiempo dado. El primer factor limitante es que no se explicita con detalle la escala de trabajo para la estimación de las aguas superficiales en una cuenca. Se habla de disponibilidad a 'nivel local' sin especificar la resolución espacial a la que se debe realizar la evaluación. Este es un punto relevante y perfectible ya que cobra importancia cuando se realiza un estudio, por ejemplo, en áreas de cuencas compartidas, y permitiría aumentar la precisión de las estimaciones del balance hídrico. Así, si el estudio es a nivel comunal, la escala recomendable para el análisis sería 1:250.000, pero si el análisis es a nivel predial, la escala más apropiada es 1:20.000.

### 11.1.2 Caudal Ecológico (CE)

Si bien este concepto tiene diferentes definiciones, aquella que señala que "representa un caudal mínimo que es necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido" (Riestra y Benavides 2004), es una definición que en la realidad actual es aceptada ampliamente. Así, para estimar este caudal necesario, se deben conocer las condiciones naturales del área de estudio. Históricamente la DGA ha estimado este caudal como un porcentaje del caudal de río, de tal forma que:

CE = 10% del caudal medio anual.

CE = 50 % del caudal mínimo de estiaje del año 95%.

Estas estimaciones requieren, como mínimo, de datos de caudales medios mensuales de al menos 30 años lo que necesariamente está asociado a escasez de datos, o a inconsistencias en estos, lo que representa una debilidad debido a que las estaciones pluviométricas y meteorológicas chilenas tienen información de caudales espacial y temporalmente deficiente.

Por lo tanto, una mejora importante en el método de estimación de los caudales debería ser realizado sobre la base de modelación hidrológica, mediante el uso de programas computacionales. Si bien es cierto que la DGA ha incorporado el modelamiento en el proceso de determinación de caudales disponibles, normalmente estos modelos no están orientados a mejorar el tipo de información que se utiliza como base, o que se utilicen para representar las variaciones espaciales y temporales del comportamiento de las variables climáticas o hidrológicas.

En la literatura existen diversos modelos validados internacionalmente y de acceso GNU (de libre uso), que permite realizar una adecuada modelación de la variabilidad



interanual e inter décadas de los caudales asociados a una cuenca. Entre algunos, se tienen:

- CAS2D (Julien *et al.* 1995). Modelo hidrológico de simulación de precipitación y escurrimiento, basado en grillas, originalmente desarrollado por U.S. Army Research Office (ARO) en 1989.
- CEQUEAU (INRS-ETE 1997, Morin 2002). Es un modelo hidrológico fácil de usar, de distribución determinística, que tiene en cuenta las características físicas de la cuenca, así como las variaciones en su espacio para la determinación de la escorrentía.
- HYDROTEL (Free Software Foundation, Inc. 1999). Es un modelo hidrológico de distribución espacial, con bases físicas, específicamente desarrollado para facilitar el empleo de sensores remotos y datos de sistemas de información geográfica.
- Soil and Water Assesmet Tool (SWAT) (Agricultural Research Service at the Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Texas). Es un modelo a escala de cuencas, desarrollado para cuantificar el impacto de las prácticas de manejo del suelo en el rendimiento hidrológico de cuencas grandes y complejas.
- TOP MODEL (Beven *et al.* 1984). Es un modelo de distribución de cuencas, con bases físicas, que simula los flujos hidrológicos del agua en una cuenca. El modelo simula interacciones explícitas entre aguas subterráneas y superficiales, prediciendo el movimiento de la napa freática.
- Regional Simulation Model (RSM) Es un modelo hidrológico regional, desarrollado sobre un marco teórico conceptual y matemático, que le permite ser aplicado genéricamente a una amplia gama de situaciones hidrológicas.
- Indicators of Hydrologic Alteration (IHA) (Richter *et al.* 1996, 1997). Es un software que proporciona información útil para expertos que tratan de entender los impactos hidrológicos de actividades humanas, o desarrollan recomendaciones de caudales ecológicos para la gestión del agua.

Por otra parte, estimar las variables hidrológicas para determinar el caudal ecológico a partir de información base correspondiente a un período anual, como lo sugiere la DGA, es una debilidad de la metodología actual pues la variabilidad climática en Chile es alta, principalmente en las zonas semiáridas donde la escasez de agua es un factor limitante para la conservación de especies y ecosistemas.

Entonces, se sugiere construir una base de datos de variables hidrológicas que sea dinámica, es decir que vaya incorporando nuevos datos a la base, que sea de fácil manejo para la consulta y gestión de datos hidrológicos tanto diarios como mensuales y así permitir usar datos representativos de varios años para estimar el balance hídrico y los caudales de escorrentía y, de este modo, reflejar la variabilidad climática. De esta manera, se cumple el objetivo es contar con las condiciones base de una cuenca en forma eficiente y confiable. Esto permitiría, por ejemplo, considerar al río como un continuo a lo largo de una cuenca y considerar este elemento al momento de constituir derechos de aprovechamiento. Este sistema puede ser construido como un modelo de simulación dinámico e integrado con sistemas de información geográfica, siendo factible incorporar los aspectos de variabilidad espacial en la determinación de datos.

Por otra parte, para estimar el caudal ecológico, es necesario conocer las posibles alteraciones hidrológicas en los distintos sectores de un río. Esto se expresa numéricamente como la desviación porcentual de los caudales bajo condiciones base y



condiciones post-adjudicación de derechos. Estos son estimados a partir de datos históricos y modelación numérica. Los modelos hidrológicos para estimar caudales utilizan el estado de la cuenca, expresado mediante el concepto de uso del suelo. Normalmente el uso del suelo en una cuenca podría ser una variable que se puede determinar de manera más precisa, tanto en el tiempo como en el espacio, mediante imágenes satelitales. Conociendo el estado de la cuenca, pueden desarrollarse relaciones entre el uso del suelo y la alteración de caudales, y al conocer los requerimientos ecológicos se pueden desarrollar las relaciones entre caudal y ecología (por ejemplo, riqueza de especies acuáticas invertebradas, regeneración de vegetación ribereña, abundancia de larvas de peces). Bajo este enfoque sería necesario:

- Determinar las condiciones ecológicas denominadas aceptables.
- Elaborar objetivos para determinar el caudal ecológico mínimo.
- Implementar un sistema de gestión de caudales ambientales.
- Elaborar objetivos para determinar el impacto social.

Por lo anterior, sería necesario realizar estudios a nivel de cuencas piloto para estimar este caudal mínimo ecológico y clarificar el método. Posteriormente se puede aplicar este método a todo Chile, mediante otro estudio, y estandarizarlo.

Un método simple y confiable para responder estas interrogantes es el modelo IHA (Indicators of Hydrologic Alteration). El IHA es un software GNU<sup>36</sup>, que ha permitido, a nivel mundial, la evaluación de los cambios hidrológicos originados por las actividades de gestión de los recursos hídricos, evaluación de la relación entre cambios hidrológicos y respuesta en especies, comunidades o procesos ecológicos, y en recomendaciones para determinar caudales ecológicos.

### 11.1.3 Estimación de caudales

Para la estimación de caudales superficiales, DGA sugiere que esto debe realizarse sobre la base de:

1. Estimar el caudal existente del cauce en el lugar solicitado (oferta hídrica): Este caudal, como se señaló anteriormente, es estimado mediante información histórica y modelación, adicionalmente.
2. Determinar los derechos de aprovechamiento y usos a respetar, en el punto de estudio y a nivel de cuenca.
3. Efectuar el balance hídrico correspondiente: Se utiliza actualmente la relación

$$Q_S = Q_E + Q_P - Q_{ETR}$$

Donde  $Q_S$  es el caudal efluente o de salida ( $m^3/s$ ),  $Q_E$  es el caudal afluente o de entrada ( $m^3/s$ ),  $Q_P$  es el caudal que ingresa al sistema como precipitación ( $m^3/s$ ), y  $Q_{ETR}$  es el caudal que sale como evapotranspiración ( $m^3/s$ ). Si no se considera la infiltración ni el caudal subterráneo, la ecuación anterior queda como:

<sup>36</sup> Disponible en: <http://www.freshwaters.org/tools>



$$Q_S - Q_E = Q_P - Q_{ETR} \cdot \sqrt{Q}$$

Y también

$$R = P - ETR \cdot \sqrt{R}$$

Donde R es la escorrentía (mm), P es la precipitación (mm), ETR es la evapotranspiración potencial, y  $\sqrt{Q}, \sqrt{R}$  son factores de discrepancia. La estimación asume un error máximo de un 5%.

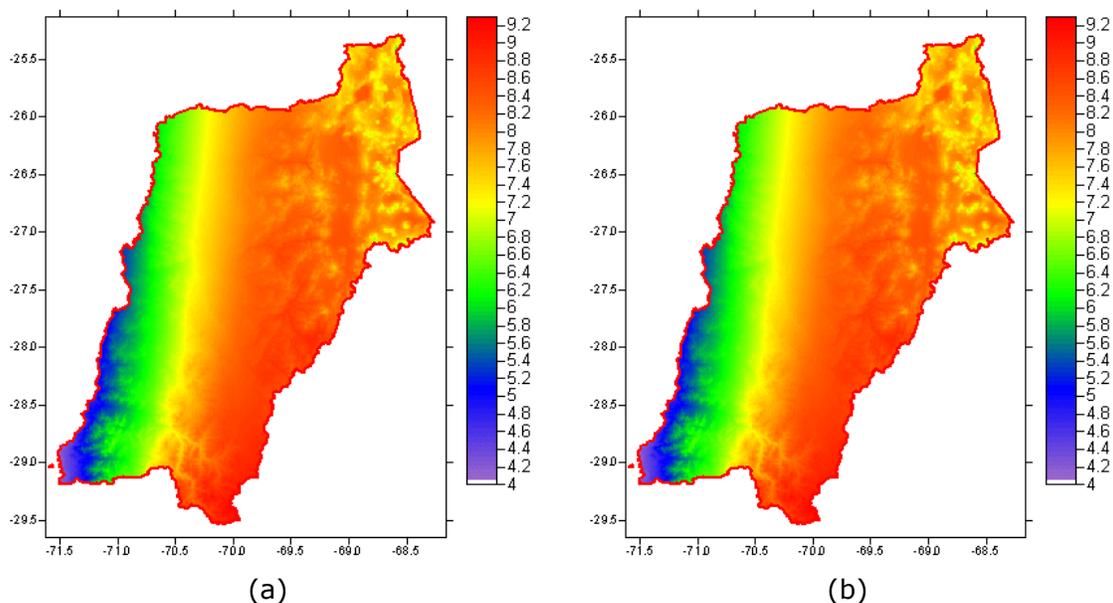
La estimación de la ETP podría ser perfeccionada si se estimase a partir de un método adicional que incorpore más variables físicas en su cálculo. Específicamente se propone el método de Penman-Monteith (FAO 2006). Este método es una ecuación semi-empírica, pero con base física (ver en *Anexo 3: Modelo propuesto para la estimación de la evapotranspiración potencial.*).

Este método es considerado estándar a nivel mundial para el cálculo de la ET de referencia. La Figura 5 muestra un ejemplo de la estimación de la ETP a nivel regional.

Una crítica muy común realizada por algunos expertos, es que este método es poco viable de utilizar en Chile porque hay muy pocas estaciones meteorológicas y, además, un número menor de ellas mide el viento. Esta falencia hace muchos años que no tiene sustento, porque es posible estimar los campos de viento mediante modelos de simulación micrometeorológicos. A partir de ellos, y alimentados por los datos de las estaciones meteorológicas, es posible estimar el campo de vientos y todas las demás variables y parámetros para estimar evapotranspiración con este método.

Para obtener valores de evapotranspiración (como variable fundamental en el cálculo del balance hídrico y por ende, de la disponibilidad de agua) más representativos de la realidad, se sugiere actualizar el estudio de Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile (CNR-CIREN 1997) por ser obsoleto tanto en método como en disponibilidad de información. Se propone también actualizar el Balance Hídrico de Chile (MOP 1987). En ambos casos la cartografía se puede generar en formato *raster* y a una mejor resolución (1:250.000) que la actual, para que pueda interactuar digitalmente con sistemas de gestión y planificación de recursos hídricos, así también con modelos de simulación. Un ejemplo de este método se ve en la Figura 5.

**Figura 5: Distribución espacial de la evapotranspiración mediante el método actual en formato raster para los meses de (a) enero y (b) julio en mm mes-1 en la Región de Atacama.**



Fuente: Elaboración propia.

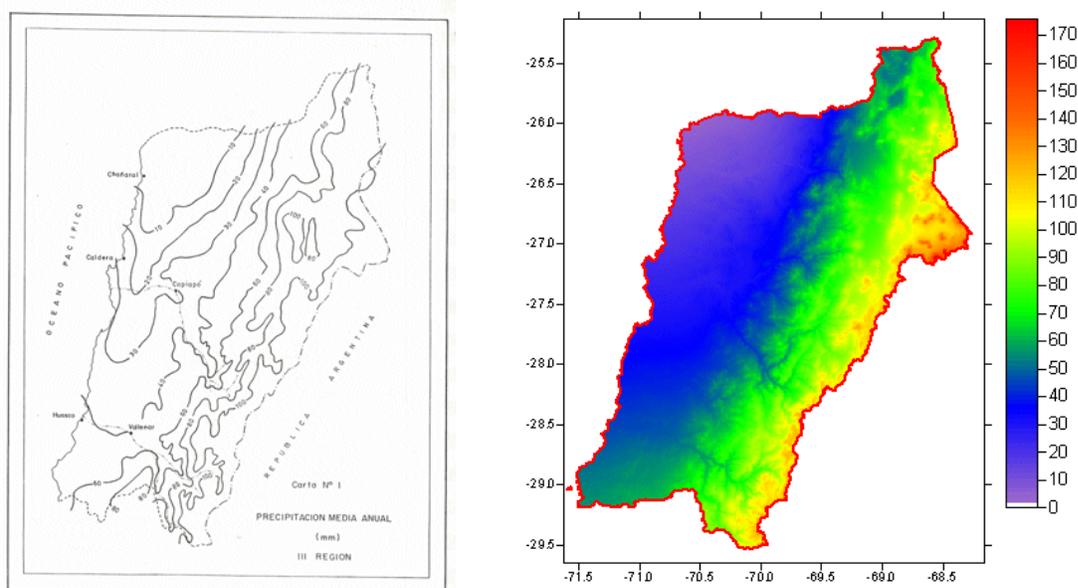
La estimación de la precipitación y otras variables meteorológicas o climatológicas que tienen un comportamiento espacial variable, y que se utilizan para determinar disponibilidad de agua, también pueden ser mejoradas usando modelamiento espacial, ya que el método actual está basado en una metodología de la década de 1960, que corresponde al criterio de experto en el trazado de isoyetas. La Figura 6 muestra una comparación entre estos dos métodos.

La elaboración de la cartografía climática digital en la actualidad debiera realizarse mediante la utilización de un modelo estadístico que de cuenta de las relaciones topo-climáticas de las variables climáticas. Para el cálculo de la distribución espacial de una determinada variable meteorológica, se considera que ésta se encuentra condicionada por la topografía y el estado de superficie de la zona. La hipótesis fundamental es que cualquier variable meteorológica puede ser expresada como una combinación de variables ambientales. Esta hipótesis permite la construcción de modelos topo-climáticos que pueden cuantificar la variación espacial de una variable climatológica, lo que comúnmente es llamado topo-climatología.

La elaboración de la cartografía climática digital en la actualidad debiera realizarse mediante la utilización de un modelo estadístico que dé cuenta de las relaciones topo-climáticas de las variables climáticas. Para el cálculo de la distribución espacial de una determinada variable meteorológica, se considera que ésta se encuentra condicionada por la topografía y el estado de superficie de la zona. La hipótesis fundamental es que cualquier variable meteorológica puede ser expresada como una combinación de variables ambientales. Esta hipótesis permite la construcción de modelos topo-climáticos que pueden cuantificar la variación espacial de una variable climatológica, lo que comúnmente es llamado topo-climatología.



**Figura 6: Comparación del (izquierda) método clásico de la década de 1960 para representar la variabilidad espacial de las precipitaciones mediante isolíneas, y (derecha) el método actual en formato raster.**



Fuente: Elaboración propia.

Existen diferentes aproximaciones al concepto de Topoclimatología, por lo que es mejor citar una definición general, donde se explica a la Topoclimatología como el clima de un lugar, objeto, el cual puede ser descrito en una manera topográfica (Okolowicz 1976, Kaminski y Radosz 2003). Según estos mismos autores, la aproximación antes expresada está de acuerdo a las definiciones realizadas por C. W. Thorntwhaite (1948), J. Paszynski (1980) and T. Bartkowski (1986). La utilidad de estudios topoclimáticos en el campo de las ciencias ambientales es variada, pero sin lugar a dudas son de vital importancia para la hidrología. Para cada variable climatológica se cuenta con una ecuación topoclimática, la cual es construida a partir de relaciones multivariadas del tipo:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j,k,n,m=0} a_j x_{k_1}^{n_1} x_{k_2}^{n_2} \dots x_{k_n}^{n_m}$$

Donde  $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$  representa a una variable climatológica en un mes cualquiera,  $x$  es una variable independiente, que puede ser latitud, longitud, altitud, distancia al litoral, exposición, pendiente, por nombrar algunos ejemplos, y  $a_j$  representan los coeficientes a determinar en la generación del modelo. Con estas relaciones se calculan las matrices de datos para cada variable climatológica y para cada mes, que corresponden a su variabilidad espacial en el área de estudio.

El estado de la superficie es normalmente modelado desde índices radiométricos calculados a partir de imágenes de satélites, tales como reflectancia integral e Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el cual debe ser ingresado como una variable independiente más.

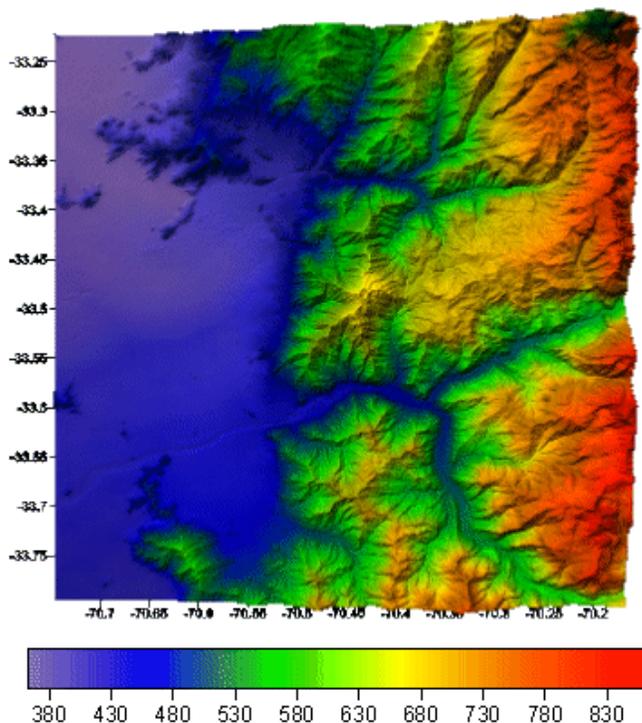
Para encontrar las relaciones dadas por la ecuación topoclimática, es posible hacerlo mediante una red neuronal artificial. En el diseño de la red se establece la forma en que estarán conectadas unas unidades o grupos de neuronas con otras, y hace posible determinar adecuadamente los pesos de las conexiones. Lo más usual es disponer las unidades en forma de capas, pudiéndose hablar de redes de una, de dos o de más de dos capas, las llamadas redes multicapas.

La Figura 7 y la Figura 8 muestran, a modo de ejemplo, la distribución espacial de la precipitación media anual estimada por un modelo topoclimático para la Región Metropolitana. Es posible advertir en estas figuras el grado de precisión en la interpolación espacial, lo que permite mejorar considerablemente las estimaciones de caudales al usar modelos hidrológicos bidimensionales.

Para la estimación de la escorrentía superficial, se recomienda el uso de un modelo espacial, como los nombrados anteriormente, en ambiente GIS<sup>37</sup> de manera que pueda ser más útil a los tomadores de decisión.

Sería recomendable construir un Atlas Climatológico Digital como base de entrada de todos los métodos de estimación y modelación de la disponibilidad de aguas superficiales. Este atlas digital no sólo serviría de base para cualquier estudio, sino también como una herramienta metodológica utilizable en evaluación de impacto ambiental de los proyectos relacionados con recursos hídricos.

**Figura 7: Detalle de la distribución espacial de la precipitación media anual en la Región Metropolitana estimada mediante un modelo topoclimático**

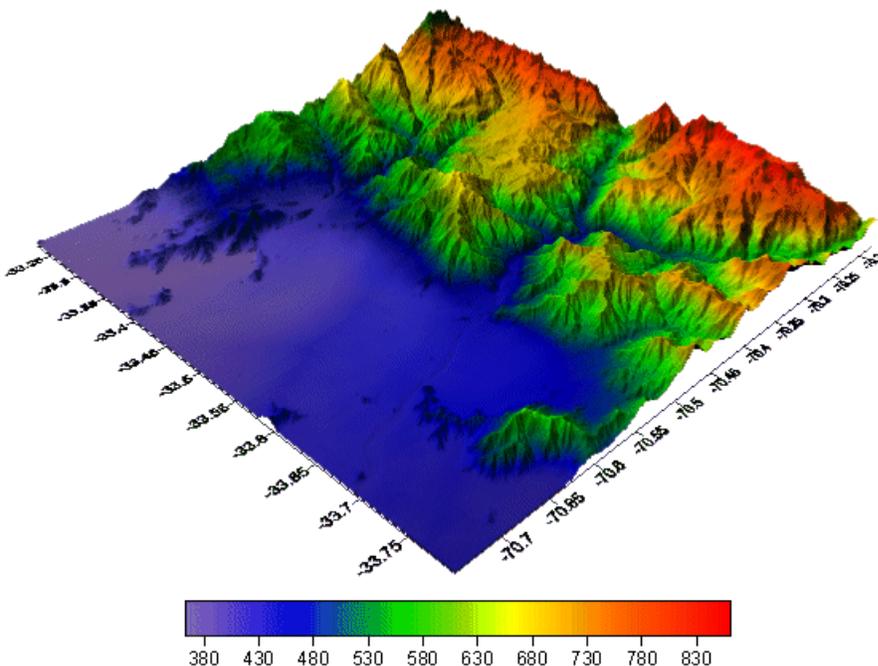


Fuente: Elaboración propia.

<sup>37</sup> GIS: Geographical Information System (en español SIG: Sistema de información geográfica).



**Figura 8: Detalle de la distribución espacial 3D de la precipitación media anual en la Región Metropolitana estimada mediante un modelo topoclimático**



Fuente: Elaboración propia.

#### **11.1.4 Determinación de probabilidades y magnitudes de datos hidrológicos en base a análisis estadísticos, utilizando la metodología de los L-Momentos.**

Como en la mayoría de las situaciones en el país, el número de datos hidrológicos no siempre es el más adecuado para estimar funciones de distribución de probabilidades, por ejemplo para estimar la probabilidad de que ocurra una sequía hidrológica o la probabilidad de ocurrencia de situaciones extremas de crecidas. Para enfrentar estudios de este tipo de situaciones hidrológicas se sugiere aplicar métodos que permitan estimar estas funciones en forma eficiente y confiable. Uno de los métodos que permite este nivel de requerimientos es el de los L-Momentos (Hosking y Wallis 1997). Mayor información sobre los L-Momentos, en el *Anexo 4: Método propuesto de estimación de los L-Momentos*.

Los L-Momentos se pueden interpretar directamente como medidas de escala y forma de una distribución de probabilidad. Así los L-Momentos pueden ser utilizados para estimar parámetros para ajustar un tipo de distribución a una muestra (Jaiswal *et al.* 2003). Con este método, es posible construir una cartografía probabilística de los montos de las variables, asociadas a eventos hidrológicos.

Se sugiere realizar un estudio de las funciones de distribución de las precipitaciones y caudales mediante el método de los L-Momentos. Este método permitirá conocer los valores que toman las variables hidrológicas para condiciones extremas, pero además es posible representar cartográficamente los valores de las variables, entregando un potencial mayor a los datos en un contexto de toma de decisiones.



## 11.2 Aguas subterráneas

El uso de modelos hidrológicos e hidrogeológicos son herramientas que se utilizan en la actualidad para estimar la disponibilidad de recursos hídricos en los acuíferos, como también en la evaluación de los impactos físicos y económicos de aumentos en la demanda, de restricciones ambientales y legales. Este tipo de herramientas de simulación hidrogeológica son usados en todo el mundo y Chile no es la excepción, la DGA ha promovido la estimación de la disponibilidad de acuíferos en diferentes cuencas usando modelos de simulación, como por ejemplo, el Modflow.

Contar con modelos como éste, adaptados y validados para las características propias de cada cuenca, permitiría gestionar en forma más adecuada sus recursos hídricos, integrando a todos los usuarios del sistema y tendiendo así a una gestión más sustentable del recurso.

Sin embargo, estos modelos utilizan datos de entrada que, al igual que en el caso de la determinación de la disponibilidad de aguas superficiales, generalmente están incompletos o de una extensión tal que no logran ser valores representativos del comportamiento normal de la zona en cuestión, por ejemplo se requieren estadísticas históricas mensuales y anuales de precipitaciones y de caudales, como también tasas de evaporación y de evapotranspiración que varían para la zona, por cultivo, por lo que se hace necesario suponer las superficies de cada cultivo.

Este tipo de información puede ser mejorada, para lo cual deben tenerse en cuenta los mismos antecedentes aportados para las aguas superficiales, en relación a las variables climatológicas o meteorológicas como variables de entrada a un modelo específico.

Otras variables de entrada a los modelos que son necesarios para su desarrollo son la geología y geomorfología, la topografía, y otras variables que influyen en el funcionamiento del acuífero. Para este tipo de variables, el uso de sistemas de información geográfica puede perfeccionar el resultado de los modelos puesto que puede recoger con mayor precisión la variación en el espacio del valor de estas variables.

## 11.3 Conclusiones

La idea de tener un enfoque perfeccionado de la determinación de la disponibilidad de agua en términos técnicos, es que el resultado de que las modelaciones tengan relevancia tanto en el proceso de toma de decisiones como en la determinación de derechos de aprovechamiento, en la declaración de agotamiento de un cuerpo de agua o en la estimación de caudales ecológicos.

Además, el perfeccionamiento de las herramientas de determinación de disponibilidad usando variables ambientales de manera más precisa permite incorporar aspectos como las variaciones esperadas en el futuro a partir de escenarios de cambio climático, y así reflejar el comportamiento variable del ciclo hidrológico para gestionar de manera conjunta la oferta y la demanda de agua.

Si bien la metodología oficial para determinar disponibilidad de agua presenta debilidades, de acuerdo con el análisis realizado, son fácilmente perfectibles con la incorporación de tecnologías modernas como el uso de modelos de simulación, sistemas



de información geográfica y herramientas de percepción remota, que son de un costo relativamente bajo y de fácil uso, que se han ido introduciendo en el último tiempo por parte de las instituciones correspondientes.

Una debilidad de los mecanismos de determinación de la disponibilidad del recurso hídrico es precisamente que no considera cuales son las demandas para las que se requiere el agua, por lo cual incorporar una variable asociada a la vocación de la cuenca, que recoja la variación espacial y temporal de la demanda entre diferentes usos, permitiría una mayor eficiencia en la distribución del agua, reducir la conflictividad entre sectores usuarios y apoyar la gestión del territorio por parte de los tomadores de decisión.



## 12 UTILIZACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS NO CONVENCIONALES

La disponibilidad es uno de los principales problemas relacionados con el recurso hídrico, la que se ve disminuida por episodios de sequía, el aumento de la población, el deterioro de la calidad y la distribución inequitativa del recurso. A razón de lo anterior, gobiernos y organizaciones alrededor del mundo se han dado a la tarea de encontrar y desarrollar tecnologías no convencionales que permitan abastecer satisfactoriamente de agua a la población y a sus actividades productivas, sin depender de cursos de agua superficiales o de pozos de agua dulce.

Salgot y Folch (2003) definen los recursos de agua no convencionales de manera amplia como "todo aquel recurso distinto de las aguas superficiales y subterráneas epicontinentales". A continuación se recogen los antecedentes más importantes de dos de las alternativas más importantes en la actualidad: la regeneración y reutilización de aguas, y la desalinización de aguas.

### 12.1 Regeneración y reutilización del agua

#### 12.1.1 Antecedentes generales

Las aguas residuales regeneradas constituyen un recurso no convencional de agua que se ha desarrollado en los últimos decenios. No obstante, para poder proceder a reutilizar este recurso se requiere de las tecnologías adecuadas y estudios previos detallados (Salgot y Folch 2003). La regeneración y reutilización de los recursos hídricos ha sido bautizado como 'el más grande desafío del siglo XXI', ya que mientras los caudales se mantienen finitos, la demanda poblacional aumenta, contexto en el que estas tecnologías cumplen dos funciones fundamentales: (i) usar el efluente tratado como una fuente de agua para propósitos productivos, y (ii) mantener el efluente fuera de cauces, lagos y playas; de esta manera se logra reducir la contaminación y la demanda de las aguas superficiales y subterráneas (Asano 2002).

Hoy en día, los procesos probados para la regeneración o purificación pueden proveer de agua de casi cualquier calidad deseada (Asano 1998, citado por Asano 2002), de ahí el creciente interés en perfeccionar las tecnologías y hacerlas más accesibles para cualquier territorio. A través de la Gestión integrada de los recursos hídricos, el uso de aguas regeneradas puede proveer de suficiente flexibilidad para permitir responder a las necesidades de corto plazo, así como aumentar la confiabilidad del abastecimiento de agua a largo plazo (Asano 2002).

La **regeneración** de aguas residuales se entiende como el tratamiento o proceso por el que debe pasar el agua residual para poder volver a usarse, mientras que la **reutilización** del agua es el uso que se le da a las aguas residuales tratadas para fines productivos, como el riego de cultivos o la refrigeración industrial; de esta forma, el agua regenerada es un efluente tratado que es adecuado para ser reutilizado. Por otra parte, la reutilización directa del agua requiere la existencia de cañerías u otros sistemas de transporte de agua para su entrega. Así mismo, la reutilización indirecta se realiza a través de la descarga de un efluente para su asimilación aguas abajo. Por último, las aguas recicladas, a diferencia de la reutilización directa del agua, normalmente sólo involucra un uso o usuario y el efluente del usuario es capturado y luego devuelto al



mismo régimen de uso. En este sentido, el reciclaje de aguas es comúnmente practicado por el sector industrial (Metcalf & Eddy 2003, citado por Asano 2002).

Entonces, el agua puede tener múltiples usos antes de ser inutilizable, posibilidad que se basa en tres principios fundamentales: (i) proveer de un sistema de tratamiento de aguas confiable, que permita alcanzar los estándares de calidad necesarios para el uso que se pretende, (ii) proteger la salud pública y (iii) obtener aceptación pública. Ahora bien, para saber si la reutilización de aguas es adecuada para una localidad específica, se deben considerar cuidadosamente los aspectos económicos de la medida, los potenciales usos del agua regenerada y la rigurosidad de los requerimientos de descarga de residuos (Asano 2002).

En la planeación del uso del agua, el objetivo del agua a reutilizar supedita el grado de tratamiento que se requiere para las aguas residuales y la confiabilidad de los procesos y operación del tratamiento (Asano 2002), ya que, como se ha mencionado, el agua puede volver a usarse para cualquier propósito, siempre y cuando se realice el tratamiento adecuado para los requerimientos de la reutilización que se pretende.

Las aplicaciones más comunes para las aguas regeneradas incluyen: riego agrícola, riego paisajístico, reciclaje y reutilización industrial, reposición de aguas superficiales y recarga de acuíferos. De ellos, el riego en paisaje y agricultura han sido vastamente utilizados en el mundo, con directrices de protección a la salud y prácticas agronómicas bien establecidas. También es posible reutilizar las aguas para el consumo humano, sin embargo, esta práctica es poco común y sólo se tienen registros de territorios con escasez extrema de agua, como el caso de la ciudad de Windhoek, en Namibia (Asano 2002).

El empleo posible de las aguas residuales se ha desarrollado en función de la implementación globalizada -y marcada por la ley en muchos países- de las plantas de tratamiento de aguas (depuradoras). Ahora bien, esto ha tenido diversas consecuencias: por una parte han disminuido localmente los caudales disponibles, ya que las aguas residuales sin depurar han sido canalizadas y desviadas de los puntos habituales de vertido; por otra, la situación administrativa ha cambiado, ya que al estar el recurso agua residual controlado teóricamente, se debe seguir una vía legal para utilizarlo (Salgot & Folch 2003).

### **12.1.2 Tecnologías utilizadas**

La misión de una planta de tratamiento de aguas residuales es la de reducir la contaminación del agua, es decir (Ortiz *et al.* 2007):

- Eliminar desechos, aceites, grasas, arenas.
- Eliminar materia decantable orgánica e inorgánica.
- Eliminar compuestos de amoníaco que contienen fósforo (particularmente en áreas vulnerables)
- Transformar los residuos devueltos en lodos estables, y manejarlos adecuadamente.

Para ello, existen varias etapas para el tratamiento de aguas, cuya implementación dependerá del grado de depuración que se busque:



**Tratamiento Preliminar:** El objetivo del tratamiento preliminar, o pre-tratamiento, es eliminar cualquier elemento que pueda entorpecer alguna de las etapas siguientes del tratamiento. Los principales elementos objetivos de esta etapa son los sólidos gruesos, la arena y los aceites y grasas (Eckenfelder and Grau 1992, citado por Barañaño y Tapia 2004).

**Tratamiento Primario:** El objetivo del tratamiento primario es la remoción de la materia orgánica suspendida (Diehl and Jeppsson 1998, citado por Barañaño y Tapia 2004), pudiendo lograr una relativamente alta remoción de materia orgánica a bajo costo. Las principales tecnologías para la remoción de sólidos son la sedimentación y la flotación, siendo la flotación que usa aire disuelto la más común (DAF, por sus siglas en inglés) (Barañaño y Tapia 2004).

**Tratamiento Secundario:** El objetivo del tratamiento secundario es la remoción de la materia orgánica disuelta (Gaudy and Gaudy 1971, citado por Barañaño y Tapia 2004), típicamente medida como la fracción soluble de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Esta etapa del tratamiento es muchas veces vista como la principal de una planta de tratamiento, y la que define como 'biológico' a aquellos procesos que utilizan organismos biológicos para la remoción de la materia orgánica (Barañaño y Tapia 2004).

**Tratamiento Terciario:** El objetivo del tratamiento terciario, o avanzado, es remover cualquier otro elemento no deseado (Eckenfelder 2000, citado por Barañaño y Tapia 2004). Esta etapa del tratamiento está generalmente enfocada a la remoción de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (Barañaño y Tapia 2004).

Así, de acuerdo a las necesidades específicas de calidad de agua que se busque, será la elección tecnológica que se haga. A continuación se presentan las tecnologías más conocidas y utilizadas en la actualidad en el mundo.

### **12.1.2.1      *Tecnologías de membrana***

Las tecnologías de membrana para regeneración de aguas residuales se emplean únicamente en aquellos casos en que el uso del agua regenerada justifica el precio final, o bien en aquellos casos en que debido al elevado contenido en sales del agua residual, las tecnologías de membrana cumplen diversos cometidos: la regeneración eliminando diversos compuestos y prácticamente todos los microorganismos, y al mismo tiempo la desalinización del efluente.

En aquellos casos en que el agua regenerada se empleará como agua de bebida, se debería ocupar la tecnología de Ósmosis Inversa (OI) -como en campos de refugiados, naves espaciales, abastecimientos de emergencia y otros- especialmente cuando la fuente es agua salobre o agua de mar; también puede justificarse dicha elección en recarga de acuíferos con agua regenerada. En esta tecnología de membrana el solvente (agua), es transferido a través de una membrana densa diseñada para retener sales y solutos de bajo peso molecular. Se considera una eliminación prácticamente total de las sales disueltas y total de los sólidos en suspensión (Salgot y Folch 2003).

Otras tecnologías de membrana (Deocón *et al.* 2002, citado por Salgot y Folch 2003) que se emplean son la microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, electrodiálisis reversible y electrodesionización (Salgot y Folch 2003).



Hay que destacar que, además de la elevada eficacia en la obtención de agua de calidad con tecnologías de membranas, éstas han ido reduciendo sus costos gracias a la optimización del requerimiento energético y a los precios más bajos de las membranas (Rivero sin año).

### **12.1.2.2 Tecnologías de filtración para tratamiento avanzado de aguas residuales**

Aparte de los sistemas naturales que ejercen una acción de filtrado (como los *humedales*) en los procesos de regeneración pueden emplearse los filtros clásicos de arena (solos o asociados a procesos físico-químicos; monocapa o multicapa) o bien diversos procesos innovadores de filtración, entre los que destacan los filtros de anillas (Salgot y Folch 2003).

En el proceso de filtros de anillas, la filtración tiene lugar usando anillas planas de material plástico provistas de ranuras. Dichas anillas están colocadas una sobre otra y comprimidas, formando el elemento filtrante. Los cruces entre las ranuras de cada par de discos adyacentes forman pasos de agua, cuyo tamaño varía según las anillas utilizadas y la situación relativa de los discos. Los pasos de agua en un mismo tipo de anillas son máximos donde la ranura de una anilla coincide con la ranura del otro y mínimos donde esta coincide con el espacio entre dos ranuras; este paso mínimo es el que define el grado de filtración de las anillas (Salgot y Folch 2003).

### **12.1.2.3 Tecnologías intensivas de regeneración**

Si no se incluyen aquí los sistemas de membrana ni la filtración, el espectro es muy reducido; y sería posible mencionar únicamente a los bioreactores a membrana (BRM), y ocasionalmente los SBR (*sequencing batch reactors*: reactores secuenciales discontinuos) y los biodiscos (RBC: *rotating biological contactor*) (Salgot y Folch 2003).

Los BRM se basan en situar una membrana en el interior de un sistema de aireación (tratamiento por lodos activados). La membrana no permite el paso de los biosólidos que quedan en el reactor y se obtiene un efluente de buena calidad, fácilmente desinfectable (Salgot y Folch 2003). Esta es una tecnología que ha surgido con fuerza en los últimos años, perfeccionándose y permitiendo su uso para el tratamiento de aguas con fines más restrictivos que otros procesos, dada su confiabilidad, compacidad y la excelente calidad de agua que entrega como producto (Ortiz *et al.* 2007), sin embargo, tienen alto costo derivado del uso de membranas UF y tienen un alto consumo de energía, debido a un aumento de la respiración endógena del reactor (Ortiz *et al.* 2007).

Dentro de estas tecnologías, los biodiscos son reactores de biomasa fija, y consisten en discos montados sobre un eje rotatorio. Mediante esta rotación, el conjunto de discos situados en paralelo está expuesto alternativamente al aire y al agua a depurar. Los microorganismos fijados descomponen la materia orgánica empleando procesos aerobios. El proceso es fiable y barato en cuanto a la energía empleada, y especialmente en pequeñas instalaciones bien dimensionadas el efluente es de muy buena calidad por lo que suele bastar una desinfección para la reutilización posterior (Salgot y Folch 2003).

Los SBR es un desarrollo de los lodos activados en el cual las funciones de aireación, sedimentación y decantación se llevan a cabo en el mismo reactor. Ocupan muy poca



superficie y tienen unos costos muy competitivos, generando un efluente de buena calidad fácilmente tratable para regeneración (Salgot y Folch 2003).

Estas tecnologías junto con las denominadas tecnologías extensivas de regeneración (infiltración-percolación y humedales) son alternativas en la regeneración de aguas para riego, aunque en el último caso tienen como principal inconveniente el elevado requerimiento de espacio (Rivero sin año).

#### **12.1.2.4 Tecnologías extensivas de regeneración**

Las tecnologías extensivas (también conocidas como naturales, blandas, de bajo costo energético, no convencionales o sostenibles) se definen en función de la presencia de componentes naturales o sistemas completos (ecosistemas) en el tratamiento de aguas residuales. Todos estos sistemas se construyen de manera exclusiva para la depuración, ya que para estas actividades el uso de sistemas naturales suele estar prohibido. Existe la posibilidad de emplear sólo un componente natural (o principalmente un componente, por ejemplo suelo), sistemas más complejos con varios componentes o ecosistemas completos (Salgot y Torrens 2008).

Los procesos que intervienen en estas tecnologías para eliminar los contaminantes del agua residual son, en general, similares a los que se desarrollan en los sistemas convencionales (degradación biológica aerobia o anaeróbica, reacciones de oxidación y reducción, sedimentación, y filtración, entre otras) a los que se unen otros procesos que se dan naturalmente en los ecosistemas, como fotosíntesis, asimilación por microorganismos o plantas (Vera *et al.* 2006, citado por Salgot y Torrens 2008). La diferencia fundamental entre las tecnologías convencionales y las no convencionales como esta, recae en que en las primeras los fenómenos transcurren en reactores a velocidades aceleradas por el aporte de energía, mientras que en los sistemas extensivos, los procesos se desarrollan a velocidad 'natural' (sin aporte de energía artificial). Este ahorro energético se compensa con una mayor necesidad de superficie (de ahí su denominación de extensivos), es decir, para tratar una misma carga contaminante los sistemas naturales requerirán bastante más superficie (Salgot y Torrens 2008).

Dentro de las tecnologías usadas en esta categoría podemos encontrar: la Infiltración-Percolación (IP), basada en el uso de arenas, que incluso llegan a cumplir las especificaciones para generar agua con la que se puede regar sin restricciones; Sistemas de lagunaje que se basan en la potenciación de la eutrofización, mediante la simbiosis de algas y bacterias, siendo capaz de lograr una buena desinfección por la acción de la radiación UV del sol y logrando rendimientos aceptables en efluentes domésticos; y Zonas húmedas construidas (*wetlands*) que son terrenos inundados con profundidades de agua del orden de 60 cm, con plantas acuáticas emergentes, donde las colonias instaladas en la grava o arena (material de relleno) y en las raíces y rizomas de las plantas llevan a cabo la depuración. Estas últimas tienen también un papel activo en el transporte de oxígeno a la zona de las raíces, creando las zonas anóxicas (Salgot y Folch 2003).



### **12.1.2.5 Tecnologías de desinfección para regeneración**

En la regeneración de aguas residuales también se puede utilizar la desinfección de las aguas, a través de tecnologías como la ozonización, la desinfección con dióxido de cloro y la radiación ultravioleta. Ahora bien, la cloración está contraindicada debido a la generación de subproductos (Rivero sin año).

La Ozonización se basa en el principio de que en el agua residual el ozono puede perderse en la atmósfera, reaccionar directamente con la materia orgánica y entrar en una serie de reacciones con radicales. Parte de estas acciones tienen como efecto desinfectar el agua. Actúa principalmente contra virus y bacterias. Al mismo tiempo reduce los olores, no genera sólidos disueltos adicionales, no es afectado por el pH y aumenta la oxigenación de los efluentes. Se genera *in situ* mediante equipos comerciales. Si el contenido en materia orgánica es elevado, se requieren dosis comparativamente elevadas para obtener una buena desinfección (Salgot y Folch 2003).

El uso de dióxido de cloro se considera como una de las mejores alternativas a la cloración convencional. Es un oxidante efectivo que se emplea en aguas con fenoles y elimina los problemas de olores. Al mismo tiempo tiene el inconveniente que oxida un gran número de compuestos e iones, como hierro, manganeso, nitritos. No reacciona con el amonio ni con el bromo. Se tiene que generar *in situ* debido a su inestabilidad y no genera subproductos en cantidad apreciable. Se considera un buen biocida y afecta también a las algas (Salgot y Folch 2003).

La radiación ultravioleta para este tipo de tratamiento se basa en la acción de una parte del espectro electromagnético sobre ácidos nucleicos y proteínas, con lo que se altera la reproducción de determinados patógenos. Se emplea la radiación a 253,7 nm, que se considera la más adecuada para el proceso. Es activo especialmente contra bacterias y virus y se describe con lámparas de media intensidad una acción contra *Giardia* y *Cryptosporidium*. Se emplean lámparas de alta, media y baja presión. Hasta el momento las más utilizadas en desinfección de aguas residuales son las de baja presión. Es importante que el efluente a desinfectar tenga pocos sólidos en suspensión. Uno de los problemas más importantes de esta tecnología es la limpieza de las lámparas (Salgot y Folch 2003).

### **12.1.3 Experiencia en Chile**

En países de Centroamérica y Sudamérica, en la cuenca mediterránea de Europa, y en otros lugares, se ha practicado desde hace siglos la reutilización, directa o indirecta, de las aguas residuales, ya sea para usos agrícolas (riego de cultivos en las afueras de las ciudades) o como agua potable. El conocimiento del riesgo asociado a estas prácticas propició, por una parte, la construcción de sistemas de alcantarillado que extraían de los núcleos de población las aguas usadas, y bastante posteriormente la construcción de depuradoras (Rivero sin año).

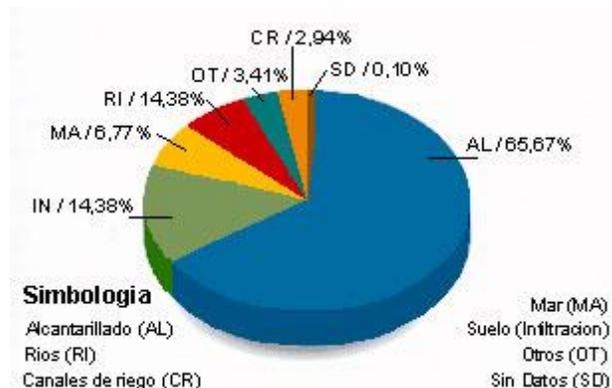
Expertos de organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud han tratado de analizar la posibilidad de reutilizar las aguas (WHO 1989). Algunos países han tratado de establecer regulaciones legales para poder llevar a cabo la reutilización, sobre todo desde el punto de vista del riesgo medioambiental y en la salud humana, para lo

cual han faltado guías internacionales que proporcionen criterios unificados (Anderson *et al.* 2001, citado por Rivero sin año)

Como se ha visto, las aguas residuales urbanas, que incluyen entre otras las aguas domésticas e industriales, ejercen una gran presión contaminante sobre los sistemas acuáticos naturales. Aún así, en países más desarrollados todavía no se masifican tecnologías avanzadas que permitan la reutilización en usos más restringidos como el potable. Por ejemplo, en España se trata más del 50% de las aguas residuales urbanas, pero únicamente la mitad de éstas son sometidas a tratamientos biológicos y sólo un 3% dispone de tecnologías avanzadas de tratamiento (Rivero sin año).

En Chile, el tratamiento de aguas se asocia a las aguas servidas, provenientes de usos domésticos e industriales principalmente. Caso especial son las industrias, que si bien podrían hacer un tratamiento a las aguas que desechan, la realidad indica que eliminan sus residuos líquidos al alcantarillado (ver Gráfico 2), siendo responsabilidad de las empresas que manejan estos servicios, su disposición final y su eventual tratamiento. De esta manera, son las empresas sanitarias las más importantes usuarias de tecnologías de regeneración de aguas en Chile, a través de las plantas de tratamiento de aguas (PTAS).

**Gráfico 2: Distribución de fuentes de eliminación de RILES en Chile**



Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios (1999)

En el año 1999, la Superintendencia de Servicios Sanitarios realizó un estudio en que estimó el costo que se tendría que invertir para alcanzar el 100% de cobertura en tratamiento de RILES, resultados que pueden observarse en la Tabla 30, en que el sector manufacturero es el que mayor esfuerzo de inversión requiere, fundamentalmente debido a un relativamente mayor número de empresas contaminantes. Desde el punto de vista de la inversión promedio en sistema de tratamiento, el sector para el que resulta más costoso es el de Explotación de Minas y Canteras, seguido por el de Agricultura, Caza, Silvicultura y Pesca. El sector Manufacturero ocupa sólo el tercer lugar (Superintendencia de Servicios Sanitarios 1999).

**Tabla 30: Costo de inversión en tratamiento de riles por sector**

Rubro	Costo de tratamiento estimado por sector (US\$)	Costo de tratamiento estimado por empresa tipo (US\$)
Agricultura, caza, silvicultura y pesca	29.709.142	782.179
Explotación de minas y canteras	30.535.296	803.93
Industrias manufactureras	902.001.154	579.214
Electricidad, gas y agua	1.401.539	57.985
Comercio al por mayor y al por menor, restaurantes, cafés y otros establecimientos que expenden comidas y bebidas	7.853.296	110.945
Transporte, almacenamiento y comunicaciones	n.d	n.d
Establecimientos financieros, seguros, bienes inmuebles y servicios técnicos, profesionales y otros	n.d	n.d
Servicios comunales sociales y personales	6.342.957	122.464

Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios (1999).

Hasta la década de 1980, casi la totalidad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales implementados en Chile eran lagunas de tratamiento (Cortez 2003). A comienzos de la década de 1990 comenzó, en forma incipiente, el proceso de construcción de PTAS, y ya desde el año 2000, con la publicación de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (Ministerio Secretaría General de la Presidencia 2001), el proceso se aceleró significativamente. Según Barañao y Tapia (2004), hacia el año 2004, aproximadamente el 66% de la población descargaba sus aguas servidas a sistemas que cuentan con tratamiento, incluidos los emisarios submarinos que descargan al mar aproximadamente 15% de las aguas servidas generadas en el país. En la Tabla 31 se puede observar cómo las plantas de tratamiento se concentran en ciudades.

**Tabla 31: Porcentaje de localidades que cuentan con tratamiento de aguas servidas**

Región	Ciudades (%)	Pueblos (%)	Aldeas (%)
I	100	33	17
II	63	0	0
III	56	25	11
IV	100	80	10
V	59	29	2
RM	63	22	3
VI	78	52	0
VII	54	36	14
VIII	52	28	5
IX	41	48	12
X	95	55	18
XI	50	100	25

Región	Ciudades (%)	Pueblos (%)	Aldeas (%)
XII	50	50	0
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>42</b>	<b>7</b>

Fuente: Barañao y Tapia (2004).

Dada la gran diversidad de climas y características de las localidades en Chile, el panorama del país resulta bastante particular por las diferentes tecnologías usadas de acuerdo a las necesidades y ubicación geográfica de los asentamientos humanos. Es así como en el norte del país es común encontrar plantas que utilicen lagunas como sistema de tratamiento secundario, mientras que en el extremo sur el 100% de las plantas usan la tecnología de lodos activados; y así mismo, algunas tecnologías que son comunes en otras partes del mundo no se han utilizado en Chile (Barañao y Tapia 2004).

En Chile, el 64% de las PTAS tienen algún tipo de tratamiento preliminar, siendo las rejillas el más común; y la mayoría de aquellas que no cuentan con esta etapa de tratamiento corresponden a plantas compactas que atienden a pequeñas poblaciones. En contraste con lo anterior, sólo un 11% de las PTAS incorporan tratamiento primario, de las cuales el 90% corresponde a sedimentación; a pesar del bajo porcentaje global, todas las plantas de gran tamaño incorporan esta etapa en el tratamiento (Barañao y Tapia 2004).

Respecto del tratamiento secundario, que es considerado el principal en una planta de tratamiento, las principales tecnologías disponibles en Chile son los lodos activados, lagunas, sistemas de medio fijo, los lombrifiltros –proceso en el que los residuos son transformados en humus por lombrices- y los emisarios submarinos, mientras que las tecnologías de membrana, ampliamente usadas y desarrolladas en el mundo para tratamiento secundario y avanzado, aún no es utilizada en el país (Barañao y Tapia 2004).

De las tecnologías usadas en Chile, la más común es la de lodos activados (61%), mientras que las lagunas tienen una representatividad de 23%, porcentaje que se concentra en comunidades pequeñas y en la zona centro-norte del país. Por otro lado, los sistemas de medio fijo son poco utilizados en Chile, representando sólo el 4,2% del total de las PTAS, y los lombrifiltros son usados por un 3,9% de las PTAS. Por último, emisarios submarinos -que aprovechan las condiciones de dispersión y de purificación natural del océano para tratar las aguas servidas- representan el 8,1% de las PTAS (Barañao y Tapia 2004).

En la Tabla 32 se muestra los costos asociados por habitante a las tecnologías mencionadas para el tratamiento secundario.

**Tabla 32: Costo por habitante promedio según tecnología de tratamiento secundario**

Tecnología	Costo promedio por habitante (US\$/hab)
Lombrifiltro	70
Lagunas	90
Emisario submarino	100
Lodos activados - Aeración extendida	130



Tecnología	Costo promedio por habitante (US\$/hab)
Lodos activados - Reactores Batch	180
Lodos activados convencionales	180
Sistemas de medio fijo	450

Fuente: Barañao y Tapia (2004).

Los autores de este análisis, a partir del mismo, concluyeron lo siguiente:

- “Los lodos activados modalidad aeración extendida son muy usados en localidades pequeñas, a costos relativamente variables, y nunca en localidades de más de 40.000 habitantes;
- Los reactores secuenciales Batch son de bajo costo en localidades pequeñas, pero su costo aumenta significativamente para localidades más grandes;
- Las lagunas son una tecnología de bajo costo, y usada en localidades de hasta 3.000 habitantes;
- Los emisarios son comparativamente caros en localidades pequeñas (<1.000 habitantes), pero comparativamente baratos en localidades con mayor población (>10.000);
- Los lombrifiltros son baratos de construir y son usados en localidades de hasta 3.000 habitantes;
- Los lodos activados convencionales son la tecnología más usada en localidades de más de 50.000 habitantes, y la única usada donde hay más de 150.000 habitantes;
- Las zanjas oxidativas son comparativamente baratas en localidades de menos de 1.000 habitantes; es una tecnología competitiva por precio hasta los 10.000 habitantes y no es usada cuando la población supera los 50.000 habitantes;
- En el rango 10.000 a 150.000 habitantes existen varias alternativas que son competitivas en cuanto a costo versus población atendida.”

El tipo de tratamiento con menos cobertura en Chile es el terciario (que busca remover cualquier otro elemento no deseado, que no se haya eliminado con los tratamientos anteriores, especialmente enfocado en nutrientes como nitrógeno y fósforo), con sólo el 8% de las PTAS, siendo las tecnologías más usadas la remoción biológica de nitrógeno y fósforo, con un 65% del total, y la remoción química de fósforo, con un 30% del total (Barañao y Tapia 2004). En el año 2004, de este 8% de PTAS con tratamiento terciario, un 80% se concentraba en las regiones de Los Lagos y de Los Ríos (Barañao y Tapia 2004).

Por otra parte, el 90% de las PTAS en Chile cuentan con una etapa de desinfección de los efluentes finales. Dentro de estos, el sistema de cloración tiene una representatividad del 76% del total de PTAS con desinfección, a pesar de que es una tecnología con subproductos problemáticos, y no ha sido reemplazada como en otros países por la ozonación (que tiene un 0% de uso en Chile), dado sus altos costos de capital. Por último, los rayos ultravioleta representan un 24% del total (Barañao y Tapia 2004). De las plantas que no cuentan con desinfección, el 80% corresponde a emisarios submarinos, los que no están forzados a desinfectar porque la norma de emisión fuera de la zona de protección litoral no establece un máximo de coliformes fecales.

## 12.2 Aguas desaladas

### 12.2.1 Antecedentes generales

La desalación o desalinización es un proceso de separación de la sal del agua del mar o de las aguas salobres, para hacerlas potables o útiles para otros fines. Lo anterior, en cifras, se puede expresar como bajar las sales disueltas de 38.000 mg/L (agua de mar) a menos de 500 mg/L (agua potable). Ésta es una alternativa para sectores que no cuentan con recursos de agua fresca. Las tecnologías de los procesos para desalar agua de mar han sido conocidas por largo tiempo. El problema fue que en sus orígenes, estos procesos eran de tan alto costo que se hacía inviable desarrollar plantas de cierto tamaño desde el punto de vista comercial.

A fines de la década de 1960, unidades comerciales de hasta 8.000 m<sup>3</sup>/d comenzaban a ser instaladas en varias partes del mundo. Estas unidades, fundamentalmente utilizadas para desalar agua de mar, correspondían a procesos de evaporación, pero en la década de 1970, los procesos comerciales de membrana comenzaron a ser más utilizados (Wu and Drioli 1989). En la década de 1980, los procesos de desalación alcanzaron totalmente el grado de desarrollo comercial. Una variedad de tecnologías de desalación fueron desarrolladas en estos años y pueden ser clasificados en procesos térmicos, de membranas y menores (congelamiento, destilación por membranas, humidificación solar).

Las tecnologías de desalinización más ampliamente utilizadas son la destilación térmica, que permite tratar un gran volumen de agua (55.000 m<sup>3</sup>/d), la electrodiálisis inversa y la ósmosis inversa, basadas en el uso de una membrana. La capacidad de tratamiento, cuando se utiliza una tecnología de membrana, puede ser reducida para adaptarla al uso deseado (se consideran grandes las plantas con una capacidad superior a 5.000 m<sup>3</sup>/d, medianas las que tienen una capacidad comprendida entre 500 y 5.000 m<sup>3</sup>/d, y pequeñas aquellas cuya capacidad máxima es de 500 m<sup>3</sup>/d) (Tah-Ben y Pigford 1989).

En la actualidad, más de 150 países del mundo utilizan la desalación, desde Australia hasta China y Japón, Estados Unidos, España y otros países europeos, de Oriente Medio y del norte de África. En la Tabla 33 se muestran los países con las mayores capacidades de desalación en el mundo. En conjunto, estos diez países suman aproximadamente el 71% de la capacidad global contratada acumulada.

**Tabla 33. Países con la mayor capacidad de desalación en el mundo**

País	Capacidad de desalación m <sup>3</sup> /d	Proporción respecto al total mundial (%)
Arabia Saudita	10.759.693	17
Emiratos Árabes Unidos	8.428.456	13
Estados Unidos	8.133.415	13
España	5.249.536	8
Kuwait	2.876.625	5
Argelia	2.675.958	4
China	2.259.741	4
Qatar	1.712.886	3
Japón	1.493.158	2
Australia	1.184.812	2

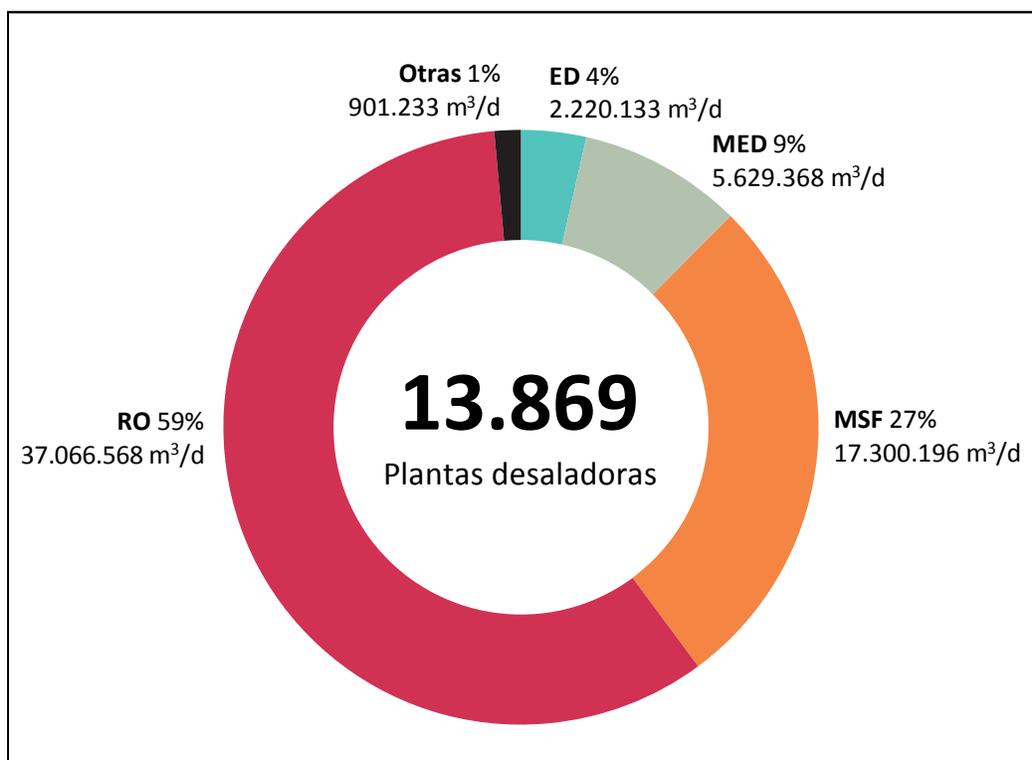
Fuente: IDA (2009).



Las unidades de mayor capacidad de producción de agua por medio de este tipo de tecnologías se encuentran en Arabia Saudita, 17% del total, principalmente unidades de desalación de agua de mar que usan los procesos de destilación. Estados Unidos es el segundo país en capacidad total, con aproximadamente un 13%, principalmente utilizando la desalación de aguas subterráneas salobres a través del proceso de ósmosis inversa. A nivel mundial, la relación de importancia entre los distintos sistemas de desalación hoy está liderada por la ósmosis inversa, con un 59%, seguida de la evaporación por múltiple flash con un 27% y destilación por múltiple efecto con un 9% (Gráfico 3).

### Gráfico 3: Tecnología ocupada por las plantas desaladoras en el mundo

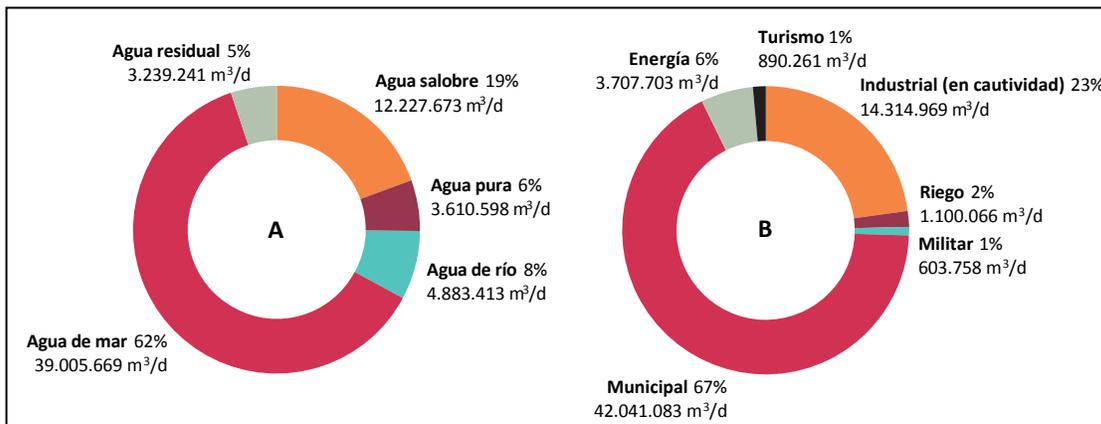
RO=Ósmosis Inversa; MSF=Evaporación por Múltiple Flash; MED=Destilación por Múltiple Efecto; ED=Electrodialisis.



Fuente: GWI *DesalData*/IDA (2008).

Las principales aplicaciones y usos a los que se ha destinado el agua producida por todas estas instalaciones se ha repartido en los siguientes sectores: 68% para municipios y 22% para entidades industriales. El agua desalada también se ha empleado en la industria energética (5%), agricultura (2%) y en la industria turística y militar (Gráfico 4(B); IDA 2009).

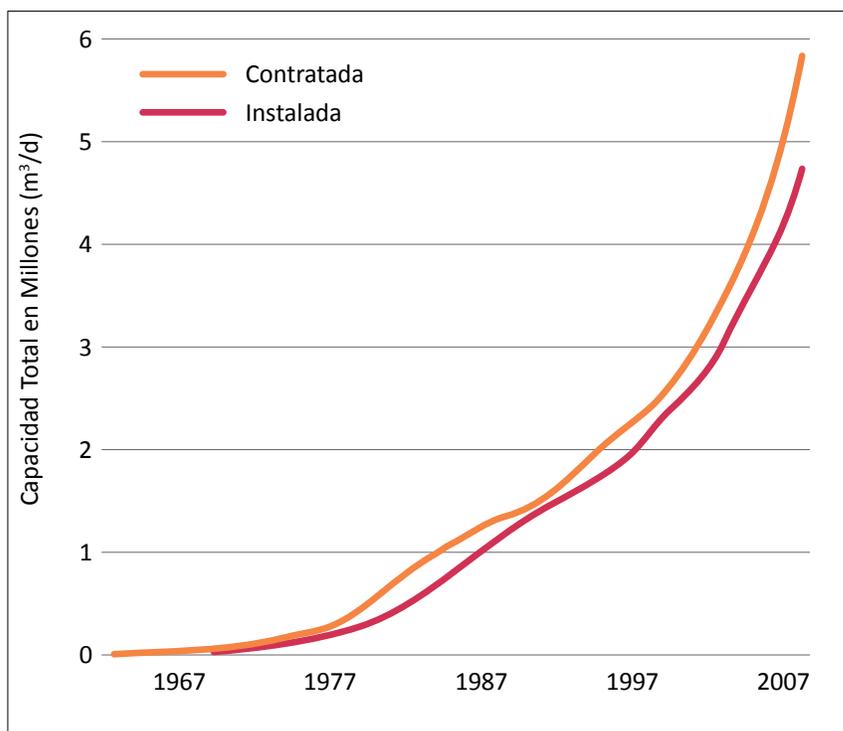
**Gráfico 4: A) Fuentes de agua desalada a nivel mundial. B) Usos de agua desalada a nivel mundial.**



Fuente: GWI *DesalData*/IDA (2008).

A fecha 30 de junio de 2008, la capacidad contratada acumulada de plantas desaladoras en todo el mundo se situó en 62,8 millones de m<sup>3</sup>/d (Gráfico 5). El 62% de esta nueva capacidad contratada (39 millones de m<sup>3</sup>/d) corresponde a desalación de agua de mar, mientras que la desalación de aguas salobres representa el 19% (12 millones de m<sup>3</sup>/d). Por otro lado, respecto a las tecnologías de desalación aplicadas a la reutilización de aguas residuales depuradas, éstas han experimentado un rápido crecimiento, representando actualmente el 5% de la capacidad total (Gráfico 4A; IDA 2008-2009).

**Gráfico 5: Crecimiento en la capacidad de desalinización en el mundo**



Fuente: GWI *DesalData*/IDA (2008).



Los costos de las diversas tecnologías dependen del contenido de sal del agua de mar o salobre. Están comprendidos en los siguientes intervalos (Caouris *et al.* 1989):

- Destilación de agua de mar en grandes plantas: entre 1 y 1,50 dólares por m<sup>3</sup>;
- Ósmosis inversa aplicada a agua de mar: más de 1,50 dólares en pequeñas plantas, de 1 a 1,5 dólares en plantas medianas, y menos de 1 dólar en grandes plantas;
- Ósmosis inversa aplicada para desalar agua salobre: menos de 0,5 dólares por m<sup>3</sup>.

Aunque las tendencias actuales muestran que los costos de la destilación térmica en plantas grandes están disminuyendo debido a las economías de escala, los costos de la ósmosis inversa se están reduciendo a un ritmo acelerado a causa de los nuevos avances tecnológicos y de la competencia, y también de las economías de escala. Los expertos recomendaron que se estudiara y evaluara detenidamente cada caso antes de elegir la tecnología más apropiada (FAO 2005).

## 12.2.2 Experiencias internacionales

### 12.2.2.1 Golfo Árabe

El Golfo Árabe es la principal fuente de agua de mar para desalar y compensar las deficiencias en los suministros de agua potable para Kuwait (Darwish y Al Najem 2005), Arabia Saudita (Dawoud 2005), Bahrein (Hashim y Hajjaj 2005), Qatar (Amer y Al Rahman 2005) y los Emiratos Árabes Unidos (Sommariva y Syambabu 2001). Debido a las extremas condiciones de aridez que se experimentan y que han provocado que la mayoría de los cuerpos de agua subterráneos hayan sido explotados intensivamente de forma no sustentable, los países del Golfo Árabe han hecho continuos esfuerzos para construir plantas desaladoras que les permitan abastecerse de agua (Al Barwani y Purnama 2008).

### 12.2.2.2 El caso de Kuwait

La principal fuente de agua potable de Kuwait es la desalación del agua de mar (cerca del 90%). El único método utilizado en el país es el Sistema de Desalinización por *Multiple Flash* (MSF). Este es un proceso de desalación térmico que demanda un alto gasto de energía (Darwish *et al.* 2008). Por otro lado, Kuwait se caracteriza por tener centrales duales para la producción de energía y agua potable a la vez. Cada unidad consiste en una turbina a vapor de 300 MW combinada con dos unidades desalinizadoras MSF. Cada MSF tiene una capacidad de 32.731 m<sup>3</sup>/d (7,2 MIGD) (Darwish and Darwish 2008).

La industria de la desalación en Kuwait se ha caracterizado por su alta tasa de crecimiento a través del tiempo. En 1953 se construye la primera planta desaladora en Kuwait con una capacidad de 454,6 m<sup>3</sup>/d (0,1 MIGD). En 1960 se instalan dos unidades MSF en la estación Shuwaikh. Con una capacidad de 4.546 m<sup>3</sup>/d (1 MIGD) cada una, son las primeras unidades MSF para desalación en el mundo. A inicios de la década de 1970 la capacidad total instalada en Kuwait alcanza los 90.920 m<sup>3</sup>/d. Para 1980 este valor se incrementó en 318.220 m<sup>3</sup>/d (70 MIGD). Una década más tarde la capacidad de



producción aumentó a  $1,17 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/d (258 MIGD). Esta expansión continuaba esperándose un valor de  $1,92 \times 10^{-6}$  (423 MIGD) para 2007 (Al-Bahou *et al.* 2007).

Debido al alto costo energético que demandan los procesos de desalinización y producción de electricidad en los sistemas duales de Kuwait, diversas investigaciones se han llevado a cabo para afrontar el problema. Estas incluyen métodos de desalación más eficientes como la ósmosis inversa (OI) y sistemas de desalación multi-efecto de baja temperatura (LT-MED) (Darwish and Darwish 2008).

### **12.2.2.3 Estados Unidos**

Una gran cantidad de plantas desaladoras han sido construidas en Estados Unidos, aunque cerca de la mitad de ellas son pequeñas y están hechas para satisfacer necesidades industriales específicas. En 2005, aproximadamente 1.100 plantas desalinizadoras con capacidades mayores a 100 m<sup>3</sup>/d están operando. Estas plantas hacen un total de 5,7 millones de m<sup>3</sup>/d, menos del 0,01% del agua utilizada a nivel municipal e industrial. Entre los años 2000 y 2005 la capacidad para desalar agua se incrementó en un 41% (Committee on Advancing Desalination Technology, National Research Council 2008). Al respecto, existen alrededor de 1.416 desaladoras funcionando en Estados Unidos, y otras 65 en fase de planeamiento o en construcción. La mayoría tienen como objetivo desalar agua salobre, representado la desalación de agua de mar sólo un 7,4% del total. Otras fuentes de agua incluyen agua pura (13,8%), agua procedente de ríos (11,9%) y aguas residuales (9%) (IDA 2008-2009).

A modo de descripción, tres de los cuatros estados con la mayor capacidad instalada- Florida, California y Texas- son costeros. El cuarto, Arizona, es un estado árido con una disponibilidad limitada de agua. Una gran planta construida por el gobierno de EE.UU. en Yuma, Arizona, para desalinizar agua proveniente del río Colorado está incluida en la estimación anterior, sin embargo ésta nunca ha sido operada fuera de algunos períodos de prueba. Dos tercios de la capacidad desalinizadora de EE.UU. es usada para el abastecimiento municipal. La industria también es un usuario relevante con cerca del 18% de la capacidad nacional instalada. La desalinización del agua de mar representa un pequeño porcentaje (8%). Actualmente EE.UU. usa tecnologías primarias para la desalinización de aguas salobres (77% de la capacidad instalada). El resto es dedicado a la desalinización de las aguas servidas, suministrando agua de alta calidad para propósitos industriales (Committee on Advancing Desalination Technology, National Research Council 2008).

### **12.2.2.4 España**

España inició el desarrollo de la desalación en la Isla de Lanzarote en el archipiélago de las Canarias en 1964, para luego extenderse a otras zonas de ese país como las comunidades autónomas Balear, de Valencia, Murcia y Andalucía (Valero *et al.* 2001).

En todos estos casos la desalación se reveló como la mejor solución -y en algunos de ellos como la única- al problema del déficit en el abastecimiento urbano. Otras soluciones estudiadas (transporte de agua en barcos o incremento artificial de precipitaciones) se abandonaron en su momento por considerarse inviables técnica o económicamente (Senent *et al.* sin año). La tecnología dominante, en la época del establecimiento de las primeras plantas desaladoras, fue la de evaporación, con



unidades MSF acopladas a plantas duales. En la década de 1980, con la aparición de las membranas capaces de producir agua dulce a través del proceso de ósmosis inversa, empieza el desarrollo y la imposición clara de esta tecnología en España. A partir de la década de 1990, las instalaciones de ósmosis inversa (OI) se han adueñado del panorama "desalador" en del país (Valero *et al.* 2001).

Actualmente, España, con una capacidad instalada de más de 900 plantas, produce aproximadamente 5.249.536 m<sup>3</sup>/d, lo cual lo ubica en el cuarto lugar a nivel mundial después de EE.UU (IDA 2009). Para 2006, el 70% de la producción de agua desalada se obtenía de agua de mar y un 30% de aguas salobres (acuíferos en contacto directo con el mar o acuíferos aislados) (INE España 2008).

Según la Asociación Española de Desalación y Reutilización (AEDyR) el uso del agua desalada está destinado principalmente al sector doméstico (55%), seguido por el agrícola (22%), industrial (19%) y turístico (4%). Por otra parte, el costo del agua desalada en España ha evolucionado desde a década de 1990, en que se encontraba en 1 euro/m<sup>3</sup>, hasta alcanzar los 0,5 euros/m<sup>3</sup> en al año 2000, manteniéndose los costos desde entonces. En general, en los últimos años ha habido una tendencia a la disminución del consumo energético que ha sido compensada con el encarecimiento de los precios de la energía (Fariñas 2005). Finalmente, España es el país del mundo donde más agua desalada se destina a la agricultura (Valero *et al.* 2001).

Es necesario incidir en la situación existente en dos zonas con características ligeramente diferentes al resto de zonas afectadas por la escasez de recursos. La primera de ellas es el Archipiélago Canario y la segunda la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

Las Islas Canarias han recurrido a la desalación para obtener la mayor parte del agua que demanda principalmente la industria turística. A partir de 1970, la sobreexplotación de los escasos recursos acuíferos de las islas estaba llegando a límites preocupantes, ello ha supuesto que islas prácticamente desérticas como Lanzarote (140 mm de precipitación anual) y Fuerteventura se abastezcan sólo con agua desalada, y en el caso de Gran Canaria llegue al 80% del total. El resultado de todo ello es que hasta 2001, en las Canarias, 1 millón de personas se abastecían de las 280 plantas desaladoras existentes, con una capacidad de 350.000 m<sup>3</sup>/d, 100 de ellas asociadas directamente al abastecimiento de hoteles y apartamentos. El 92% de las plantas son de inversión privada, aunque las de naturaleza pública producen el 60% del agua desalada. En cuanto a las tecnologías utilizadas, el 87% de las plantas son de OI, el 9% de ED y el 4% de evaporación. Normalmente la ED se utiliza para aguas salobres cloruradas y/o bicarbonatadas, cosa muy común en las galerías de escorrentía de las laderas del Teide en Tenerife (Valero *et al.* 2001).

Otro punto interesante a considerar de las Islas Canarias es el consumo energético derivado de la desalación en unas islas sin conexión de red eléctrica entre ellas ni con el continente (deben ser autosuficientes). En islas como Lanzarote, con un 50% de consumo hídrico debido al turismo, dicho gasto eléctrico supone el 25% del total, y en el caso de Fuerteventura llega hasta el 30% (Valero *et al.* 2001).

El segundo caso digno de mencionar es la Comunidad Autónoma Murciana, comunidad estructuralmente deficitaria (en 460 mm<sup>3</sup> anuales según el Plan Hidrológico Nacional, PHN) debido al consumo agrícola derivado de sus explotaciones de regadío intensivo. La sobreexplotación de los acuíferos para el regadío los ha convertido en aguas salobres de



difícil uso agrícola, con lo que ha sido necesario instalar gran cantidad de pequeñas desaladoras de agua salobre de mínimo mantenimiento y gestión de los propios agricultores. La oferta de agua desalada de agua de mar se concentra en grandes instalaciones en poblaciones costeras (Mazarrón, Cartagena) (Valero *et al.* 2001).

Otro caso que merece ser mencionado es la desalinizadora de Barcelona, que con una producción de 200.000 m<sup>3</sup>/d, y actualmente en su fase final de construcción, será una de las plantas de ósmosis inversa para suministrar agua potable, más grandes de Europa y del mundo. La instalación, ubicada en el margen izquierdo del delta del río Llobregat, captará aguas mar adentro, a unos 2,5 kilómetros de la línea de costa y a 30 metros de profundidad. El proceso de desalación utilizado es el de ósmosis inversa, que actualmente es el método más eficaz para la potabilización de agua. El agua tratada cumplirá con las concentraciones exigidas en la legislación que regula la calidad del agua potable, especialmente el Boro, elemento presente en el agua del mar y que no debe superar 1 mg/L. Por exigencias medioambientales la planta también incorpora una instalación completa de tratamiento de fangos.

Además, el diseño de la desaladora incorpora las últimas innovaciones presentes en el mercado de la desalinización para poder asegurar el suministro de más de 60 hm<sup>3</sup>/año así como para suponer el mínimo consumo de energía y gastos de mantenimiento. El presupuesto de esta obra es de 178 millones de euros.

## **12.2.3 Experiencias nacionales**

### **12.2.3.1 Antofagasta**

Desde 2003 se encuentra funcionando en Chile la Planta Desaladora de Antofagasta, convirtiendo a esta ciudad en la primera de Latinoamérica que utiliza el mar como fuente de abastecimiento de agua potable. La planta se encuentra ubicada en la II Región de Antofagasta, en la zona denominada caleta La Chimba (ESSAN citado por Golder Associates S.A. 2006).

Esta instalación requirió de una inversión de US\$ 54 Millones de y el costo de producción de un metro cúbico es 700 pesos chilenos. El proyecto base contempla una producción de 150 L/s (4,7 Hm<sup>3</sup>/año) la que alcanzará en el futuro una producción de 600 L/s (52.000 m<sup>3</sup>/d) mediante ampliaciones sucesivas en módulos de 13.000 m<sup>3</sup>/d (tres módulos de ampliación). Estas inversiones permitirán que en el mediano plazo la ciudad de Antofagasta sea la única ciudad de Latinoamérica que se abastecerá prácticamente en un 100% con agua desalada. La tecnología utilizada corresponde a ósmosis inversa (OI) (ESSAN citado por Golder Associates S.A. 2006).

### **12.2.3.2 Arica**

En Arica, a mediados de 1995, el déficit en el suministro de agua potable era de 200 L/s, generando una restricción de 12 horas diarias en el servicio, lo que constituía una fuerte limitación para el desarrollo de la ciudad (Anónimo 2007).

Para cubrir esta necesidad, la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá, Essat S.A. (actualmente Aguas Altiplano) evaluó alternativas viables dentro de 160 estudios sobre explotación de recursos hídricos, hasta optar por la desalación de las aguas subterráneas



del río Lluta. La planta que realiza esta labor es la más grande de Chile para tratamiento por ósmosis inversa (18.000 m<sup>3</sup> diarios), y tuvo una inversión de US\$ 8,6 millones por parte del consorcio español Desalinizadora Arica Ltda. o Desalari. (Anónimo 2007).

La captación de aguas se realiza desde las napas subterráneas del valle de Lluta, donde funcionan 11 pozos. A éstos se suman cuatro pozos en el sector costero de la ciudad. Con estas inversiones era posible asegurar un pleno abastecimiento para Arica hasta el año 2008. Asimismo, ya se iniciaron los estudios para hacer frente a la segunda etapa del plan de desarrollo y así garantizar el suministro de agua hasta más allá del 2020. La empresa también ha contribuido a la habilitación de las playas Las Machas y Chinchorro, ubicadas en el sector norte de la ciudad, gracias al diseño y construcción de modernos sistemas de tratamiento de aguas servidas (Anónimo 2007).

### **12.2.3.3      *Minera escondida***

A las dos experiencias de desalinización de Arica y Antofagasta se suma la construcción de la planta desaladora de Minera Escondida, en la II Región. Con una inversión de \$870 millones, esta inversión es parte del proyecto "Lixiviación de Sulfuros" que permitirá a la minera obtener 180.000 toneladas de cátodos anuales (Anónimo 2007).

La planta, ubicada en el puerto Coloso, al sur de la ciudad de Antofagasta, tiene su punto de partida en una bocatoma de agua de mar ubicada a 700 metros de la costa y a 23 metros de profundidad, a la que se le hicieron varias modificaciones como la instalación de mallas de retención en los extremos que impiden el ingreso de elementos, y la instalación de una línea de precloración (Anónimo 2007).

Con una captación de 1.050 L/s a través de bombas de succión, el agua se traslada hasta la planta para iniciar el proceso de pretratamiento. Luego de pasar por un desarenador y luego por una celda de flotación donde se extrae el 95% del material en suspensión, el agua es conducida a una piscina a la que se le inyectan gases. El pretratamiento concluye con una doble etapa de filtración donde se elimina el resto del sólido en suspensión. El agua obtenida se somete al proceso de desalinización, que en este caso se efectúa mediante ósmosis inversa. Para Escondida, el mayor reto es tener que impulsar el agua desalinizada hacia su yacimiento, 170 kilómetros al sureste de Antofagasta a 3.200 metros de altura (Anónimo 2007).

### **12.2.3.4      *Análisis costos alternativos de una desaladora de agua de mar en el valle de Azapa***

Para potenciar la disponibilidad de agua de Azapa en riego, el MOP ha propuesto la alternativa de construir una Planta Desaladora de Agua de Mar para el abastecimiento de Agua Potable. En atención a este requerimiento Aguas del Altiplano S.A. ha evaluado distintas alternativas.

Considerando liberar las fuentes del Valle de Azapa, se evaluaron tres escenarios (se indican caudales aproximados):

- Abastecimiento integral de la ciudad con una desaladora de agua de mar (600 L/s)



- Abastecimiento de la ciudad con las fuentes del Lluta (200 L/s) más una desaladora de agua de mar de 400 L/s.
- Abastecimiento de la ciudad con las fuentes del Lluta (200 L/s), los sondajes de la ciudad (200 L/s), más una desaladora de agua de mar de 200 (L/s)

En todos los casos se consideró el abastecimiento de los clientes ubicados en el valle de Azapa mediante sondajes del mismo, con un caudal de 22 L/s. Las principales ventajas y desventajas evaluadas en cada caso están enunciadas en la Tabla 34.

**Tabla 34: Ventajas y desventajas de los diferentes escenarios de operación**

	Escenario	Ventajas	Desventajas
1	Sólo desaladora	Soluciona problema del boro Libera recursos en Azapa (400 L/s) y Lluta (300 L/s)	Mayor costo de inversión y operación (impacto en tarifas muy alto)
2a	Desaladora + Lluta	Libera recursos en Azapa (400 L/s)	Costo de inversión y operación medio. No soluciona caso del boro
2b	Desaladora + Ciudad	Libera recursos en Azapa (200 L/s) y soluciona problema del boro	Costo de inversión y operación medio
3	Desaladora + Lluta + Ciudad	Menor costo de inversión y operación (menor impacto en tarifas)	Extracción de ciudad incide en Azapa. No soluciona caso del boro

Fuente: Consorcio Aguas Nuevas (2007).

Los costos de inversión de una desalinizadora de agua de mar se calcularon a partir de curvas de costos construidas con los precios pagados por este tipo de instalaciones.

Junto con la desalinizadora, se deben considerar los costos de la infraestructura asociada, denominada Obras Complementarias (OOCC) tales como: Captación y Planta Elevadora de Agua de Mar, Plantas Elevadoras de Agua Potable, Conducciones, aducciones e impulsiones (Tabla 35)

**Tabla 35: Costos de inversión de las diferentes alternativas**

Escenario	Capacidad de desalación (L/s)	Valor (HMUS\$)
1	600	56,1 + OOCC (7,6) $\approx$ 63,7
2	400	42,3 + OOCC (5,9) $\approx$ 48,2
3	200	26,5 + OOCC (5,1) $\approx$ 31,6

Fuente: Consorcio Aguas Nuevas (2007).

Los supuestos considerados en la evaluación fueron los siguientes:

- La operación del sistema de desalación es intensiva en energía eléctrica y en insumos como membranas y químicos, por lo que su costo es mucho mayor que los costos actuales de extracción desde los sondajes.
- Adicionalmente se deben considerar los costos de elevación del agua desde el nivel de ubicación de la desaladora hasta los estanques de distribución.
- Finalmente, se descuentan los costos operacionales del sistema actual.

Los valores resultantes para cada escenario expresados en HM\$/año se resumen en la Tabla 36.



**Tabla 36: Costos de operación de las alternativas**

Escenario (HM\$/año)	Solo desaladora	Desaladora + Lluta o Desaladora + Ciudad	Desaladora + Lluta + Ciudad
Total	4.866	3.401	1.887

Fuente: Consorcio Aguas Nuevas (2007).

### 12.3 Conclusiones: la utilización de recursos hídricos no convencionales en Chile

Respecto a las posibilidades de utilización de recursos no convencionales en Chile, la revisión realizada da a entender que las dos tecnologías analizadas, están en vías de ser dominadas y consolidadas. Puede por tanto podrían aportar en la mitigación de los problemas de la escasez de recursos hídricos, lo que para el caso de Chile -con el aumento de la población y crecimiento económico, las proyecciones de menos precipitaciones y el retroceso de los glaciares, especialmente en la zona central del país (Bates *et al.* 2008; Universidad de Chile 2006)- resulta de vital importancia.

La regeneración y reutilización de aguas en el mundo es un área que aún tiene mucho por investigar y desarrollar. A futuro se espera que las tecnologías no solamente se hagan más efectivas para lograr aguas cada vez más limpias que permitan su reutilización para cualquier objetivo, sino que, principalmente, se espera que las tecnologías se mejoren en términos económicos, para hacerlas accesibles a países sin los recursos necesarios para implementarlas, como ha sido el caso de Chile, donde aún no se usan las tecnologías más modernas que incluyan etapas de tratamiento avanzado o procesos de desinfección que prioricen la protección ambiental.

En esta línea, el uso actual de emisarios submarinos como alternativa de tratamiento secundario debería tender a ser reemplazado por sistemas de tratamiento convencionales, más eficientes en términos ambientales que permitan la reutilización de estas aguas. Así mismo, resulta trascendental reemplazar la cloración por otro tipo de tecnología que disminuya sus efectos secundarios en el ambiente, como la ozonación.

A pesar de lo anterior, el nivel de tratamiento de las aguas servidas en Chile ha mejorado significativamente en termino de cobertura en la última década, y se espera continúe la tendencia en los próximos años. Para ello existen planes regionales que consideran la inversión en PTAS, lo que traería beneficios directos a la comunidad y generaría la aprobación pública de estas iniciativas. Generar inversión en el tratamiento de las aguas residuales traspasando los costos a los usuarios menoscaba la aprobación de la población a estos proyectos, considerando la baja disposición a pagar por el agua que la población manifiesta en la actualidad. Puede resultar pertinente entonces, buscar e incentivar la inversión privada con subsidios públicos, así como avanzar en la investigación de tecnologías que permitan disminuir los costos para mejorar la tecnología y ampliar la cobertura de los tratamientos no convencionales.

Por lo anterior, aún quedan muchas PTAS por construirse, en especial en localidades pequeñas (pueblos y aldeas) de Chile. A pesar de que la mayoría de las tecnologías requieren grandes costos de inversión, en poblados y aldeas es posible la utilización de tecnologías extensivas de regeneración, como *wetlands*, donde los costos de mantención son bajos dado que la mantención recae en los propios usuarios, siendo un obstáculo para su implementación la capacitación de éstos. Revirtiendo esta situación, se



permitiría aumentar la cobertura de estas tecnologías, y así mejorar la disponibilidad de agua en sectores con escasez.

Planificar estratégicamente el uso de las aguas regeneradas en las localidades donde se implementen estas tecnologías, facilitaría encontrar las alternativas más convenientes en términos ambientales y económicos, que permitan conseguir la calidad de agua correspondiente con los objetivos planificados.

Respecto a los recursos hídricos susceptibles de ser desalados (agua de mar o salobre), la principal opción sería el tratamiento de las aguas de mar, tal como se ha hecho en Antofagasta. Esto, en alusión a que las principales ciudades de la zona norte del país se encuentran en la zona costera. Sin embargo, la existencia de poblados alejados de la costa y el aumento de la producción minero-industrial, muchas veces localizadas en sectores interiores, supone que la utilización de fuentes de agua salobre no debe ser descartada. Al respecto, Chile ya cuenta con una experiencia de desalación de aguas salobres en la cuenca del río Lluta (ver caso de Arica). Por otra parte, se ha documentado que el proceso de desalación por ósmosis inversa de aguas salobres reducen cerca de un 50% el impacto medioambiental con respecto a la utilización de agua de mar, debido a que el consumo energético es mucho menor que cuando se utiliza agua de mar, lo que se transforma en una ventaja. Sin embargo, la extracción de las aguas salobres disponibles, por ejemplo de un acuífero, si no se dispone de un conocimiento suficiente del mismo, y de una adecuada programación de bombeos puede dar lugar a graves problemas de deterioro de su calidad natural.

En relación a la utilización de agua de mar en el planteamiento hidrológico, se tienen que tener en cuenta tres puntos esenciales: a) el costo de obtener agua desalada; b) la cantidad de agua a desalar; y c) los usos en que se debe emplear el agua desalada.

Respecto al primer punto, pese al relativo alto costo que la desalación aún mantiene (aproximadamente 1 dólar por metro cúbico de agua de mar) recientemente el director de Aguas del MOP Rodrigo Weisner sostuvo que "en algunos lugares de Chile la única fuente que va a permitir el abastecimiento de agua potable será la desalinización de agua de mar y, probablemente, gran parte del desarrollo minero va a estar asociado al uso de agua desalada, sin embargo, la desalinización a gran escala y en el resto de las regiones, dependerá de la demanda y que el costo de producción se vuelva competitivo"<sup>38</sup>. En efecto, el costo del agua desalada es sin duda el más alto al que hoy se puede disponer del recurso agua. La comparación con los métodos convencionales de regulación y conducción o con las aguas subterráneas, siempre es desfavorable a la desalación. Sin embargo debe señalarse que el costo del agua desalada ha sido decreciente mientras que el de los otros recursos convencionales ha sido creciente.

Con respecto a los usos en que se debe emplear el agua desalada, tomando como supuesto la no existencia de subvenciones, será la rentabilidad económica de la actividad a la que se dedica, la que marque si puede o no pagar el precio del agua. De acuerdo a esto último, parece factible que los sectores industrial-minero y urbano deben ser los principales beneficiarios de esta tecnología. Por otra parte, y pese a la gran experiencia que España tiene en la utilización de aguas desaladas para fines agrícolas, por el momento parece poco factible reproducirla en Chile. Según un grupo de expertos de la FAO la aplicación de la tecnología de desalinización del agua a la agricultura es por

<sup>38</sup> "La apuesta chilena por la desalinización del agua". Por Cristina Espinoza. 17 de febrero de 2009. Diario La Nación de Chile.



lo general poco rentable; en particular, la desalinización del agua es en la actualidad mucho más costosa que la reutilización de aguas residuales tratadas para fines agrícolas. Hasta la fecha, la aplicación de la desalinización del agua a la agricultura se limita a cierto número de zonas; sólo se utiliza de hecho en el caso de algunos cultivos de gran valor cuando el gobierno subvenciona los gastos de inversión. Por último, para saber cuánta agua se debe desalar es necesario saber qué franja del déficit hídrico, correspondiente a los usos asignados (urbano, industrial, agrícola, minero), se quiere cubrir mediante desalación. La demanda para estos usos deberá ser la que marque la cantidad de agua que se debe desalar.

## 13 IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS

### 13.1 Cambio climático y escenarios de emisiones

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), determina que el cambio climático se define como “cambio del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones de su valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso de la tierra” (Bates *et al.* 2008). La Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), en su Artículo 1, lo define como “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (CMNUCC 1992). Así, la Convención realiza una distinción entre cambio climático, atribuible a la actividad humana, y variabilidad climática, que ocurriría por causas naturales.

Los impactos de un cambio climático son definidos como “efectos de un cambio climático sobre los sistemas humanos y naturales”, y para poder estimar estos efectos se realizan proyecciones climáticas, que estiman la respuesta de un sistema climático ante diversos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, y a las concentraciones que estos alcancen en la atmósfera (Bates *et al.* 2008). Los escenarios de emisiones son representaciones plausibles de la evolución futura de emisiones de sustancias que son, potencialmente, radiativamente activas, tales como los gases de efecto invernadero<sup>39</sup> o aerosoles. Están basados en hipótesis coherentes y consistentes sobre las fuerzas impulsoras de este fenómeno, como el desarrollo demográfico y socioeconómico, el cambio tecnológico, y sus relaciones clave. Estos escenarios se utilizan como insumos en los modelos de simulación climática, que permiten tener proyecciones climáticas bajo las premisas de los distintos escenarios (IPCC 2007a).

El año 2000 se publicaron escenarios de referencia en un informe especial del IPCC. El término IEEE designa los escenarios descritos en el Informe Especial del IPCC sobre escenarios de emisiones, los que se agrupan en cuatro familias (A1, A2, B1, B2) que exploran distintas vías de desarrollo incorporando toda una serie de fuerzas originantes demográficas, económicas y tecnológicas, junto con las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes, y no contemplan otras políticas climáticas además de las existentes. “Las proyecciones de emisión son muy utilizadas para conjeturar el cambio climático futuro, y sus supuestos básicos respecto de la evolución socioeconómica, demográfica y tecnológica son el punto de partida de numerosos estudios sobre la vulnerabilidad del cambio climático y evaluaciones de impacto” (IPCC 2007a).

---

<sup>39</sup> Los gases de efecto invernadero (GEI) son gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero. Los principales GEI de la atmósfera son el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>), y ozono (O<sub>3</sub>). A ellos se les suma un grupo de GEI totalmente producidos por el hombre, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro, de las que se ocupa el Protocolo de Montreal. Además del CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, el Protocolo de Kyoto aborda otros gases de efecto invernadero, como el hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PCF) (IPCC 2009).

“La línea argumental A1 presupone un crecimiento mundial muy rápido, un máximo de población mundial hacia mediados de siglo y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Se divide en tres grupos, que reflejan tres direcciones alternativas de cambio tecnológico: intensiva en combustibles fósiles (A1FI), energías de origen no fósil (A1T), y equilibrio entre las distintas fuentes (A1B). B1 describe un mundo convergente, con la misma población mundial que A1, pero con una evolución más rápida de las estructuras económicas hacia una economía de servicios y de información. B2 describe un planeta con una población intermedia y un crecimiento económico intermedio, más orientada a las soluciones locales para alcanzar la sostenibilidad económica, social y medio ambiental. A2 describe un mundo muy heterogéneo con crecimiento de población fuerte, desarrollo económico lento, y cambio tecnológico lento. No se han asignado niveles de probabilidad a ninguno de los escenarios” (IPCC 2007a).

Los escenarios proyectan un aumento de los niveles de referencia de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero de entre un 25% y un 90% entre los años 2000 y 2030. En estos escenarios se supone que los combustibles fósiles mantendrán su posición predominante en el conjunto de las energías mundiales hasta más allá del año 2030, por tanto las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de uso de energía aumentarán entre un 40% y un 110% en el mismo período. “De proseguir las emisiones de GEI al ritmo actual, o a un ritmo mayor, se intensificaría el calentamiento y se operarían numerosos cambios en el sistema climático mundial durante el siglo XXI, muy probablemente superiores en magnitud a los observados durante el siglo XX” (IPCC 2007a). La Tabla 37 muestra los aumentos proyectados<sup>40</sup> de la temperatura mundial y del nivel del mar para distintos escenarios:

**Tabla 37: Variaciones esperadas de temperatura**

Caso	Cambio de temperatura (°C en 2090-2099 respecto de 1980-1999)		Aumento de nivel del mar (metros en 2090-2099 respecto de 1980-1999)
	Estimación probable	Intervalo probable	Intervalo según los modelos. Excluidos los cambios dinámicos rápidos futuros del flujo del hielo
Concentraciones del año 2000 constantes	0,6	0,3-0,9	No disponible
Escenario B1	1,8	1,1-2,9	0,18-0,38
Escenario A1T	2,4	1,4-3,8	0,20-0,45
Escenario B2	2,4	1,4-3,8	0,20-0,43
Escenario A1B	2,8	1,7-4,4	0,21-0,48
Escenario A2	3,4	2,0-5,4	0,23-0,51
Escenario A1FI	4,0	2,4-6,4	0,26-0,59

Fuente: IPCC (2007a).

<sup>40</sup> “Estas estimaciones han sido evaluadas mediante jerarquía de modelos que abarca un modelo climático simple, varios modelos terrenos de complejidad intermedia y un gran número de modelos de circulación general atmósfera-océano (MGCAO). La composición del año 2000 constante se obtiene únicamente de los MGCAO [...]. Los cambios de temperatura están expresados como valores de diferenciales respecto del período 1980-1999. Para expresar el cambio respecto del período 1850-1899, añádanse 0,5 °C” (IPCC 2007a).



## 13.2 Cambios observados

En las últimas décadas, se han observado algunos cambios que podrían escapar de lo que se admite como variabilidad natural del clima. El IPCC publicó el año 2008 un informe específico sobre cambio climático y agua. En él se analizan los principales cambios observados *versus* los cambios que se proyectan a través de modelos de simulación climática, para todo el planeta, a una escala de países. Para América Latina, y especialmente en Chile, el principal cambio observado en el clima es el aumento de la frecuencia de eventos climáticos extremos, tales como las sequías, crecidas y deslizamientos de tierra. El estudio indica que "la frecuencia de desastres relacionados con el clima aumentó en un factor de 2,4 entre 1970 y 1999, y 2000-2005", habiéndose cuantificado económicamente sólo un 19% de los fenómenos ocurridos entre los años 2000 y 2005, los que representan pérdidas de casi 20.000 millones de dólares a nivel de continente. Las sequías observadas producto del fenómeno de La Niña en la zona central de Chile han generado graves desabastecimientos de agua para consumo humano y para riego de cultivos, y se ha observado también una tendencia decreciente de la precipitación en el país (Bates *et al.* 2008). Estudios realizados por Camilloni (2005) determinan que en Chile central, en los últimos 50 años, el decrecimiento de las precipitaciones ha sido de un 50%. La energía hidroeléctrica, principal fuente de energía, tanto chilena como de otros países de América del Sur, es considerada una actividad vulnerable a las anomalías de precipitación a gran escala que se han observado. La variación en la disponibilidad de recursos hídricos es un tema que también se vincula con la salud pública, ya que inundaciones y sequías pueden propiciar condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades, tales como el cólera y aquellas transmitidas por vectores. Además, se han documentado otros efectos en el continente relacionados con la agricultura y la biodiversidad (Bates *et al.* 2008).

## 13.3 Cambios proyectados

Específicamente sobre el agua, se espera que el cambio climático intensifique el estrés que hoy padece este recurso debido al crecimiento poblacional, el cambio económico, los usos de la tierra y, especialmente, a la urbanización. La disponibilidad de agua dulce depende directamente de bancos de nieve de montaña, glaciares y pequeños casquetes de hielo. Las proyecciones indican que "las pérdidas de masa generalizadas de los glaciares y las reducciones de la cubierta de nieve de los últimos decenios se acelerarían durante el siglo XXI, reduciendo así la disponibilidad de agua y el potencial hidroeléctrico, y alternando las estacionalidad de los flujos en regiones abastecidas de agua de nieve de las principales cordilleras (por ejemplo, Hindu-Kush, Himalaya, Andes), donde vive actualmente más de la sexta parte de la población mundial" (IPCC 2007a).

Los cambios proyectados en precipitación y temperatura inducen cambios de escorrentía y de disponibilidad de agua. "Con un grado de confianza alto, la escorrentía aumentaría entre un 10% y un 40% de aquí a mediados de siglo en latitudes superiores y en ciertas áreas tropicales pluviales, incluidas ciertas áreas populosas del este y sureste de Asia, y disminuiría entre un 10% y un 30% en ciertas regiones secas de latitudes medias y en los trópicos secos, debido a la disminución de las lluvias y a unas tasas de evaporación más altas". También se espera que numerosas regiones semiáridas padezcan una disminución de sus recursos hídricos. Aumentarán la extensión de las áreas afectadas por sequías, lo cual afecta negativamente a sectores productivos como la agricultura, la producción de energía, y la disponibilidad de agua para consumo. "Los impactos



negativos del cambio climático sobre los sistemas de agua dulce contrarrestan con creces sus efectos beneficiosos". En algunas zonas se espera aumenten las precipitaciones y la escorrentía, pero los impactos beneficiosos de estos aumentos probablemente se verán atenuados por los efectos negativos de una mayor variabilidad en las precipitaciones y de una "alteración estacional de la escorrentía sobre el abastecimiento y calidad del agua, y por un mayor riesgo de crecidas. Las investigaciones disponibles parecen indicar que aumentarán apreciablemente las precipitaciones de lluvia intensas en numerosas regiones, en algunas de las cuales disminuirán los valores medios de precipitación". El aumento de la variabilidad de precipitación y escorrentía supone un mayor riesgo de crecidas y de sequías, lo cual plantea problemas que deben mirarse desde el punto de vista de la sociedad, su infraestructura y la calidad de sus aguas. Es probable que hasta un 20% de la población mundial llegue a habitar zonas en que las crecidas aumenten, de aquí a la década de 2080. La gravedad y frecuencia de las sequías y crecidas afectarían negativamente al desarrollo sostenible. El aumento de la temperatura afectaría también "las propiedades físicas, químicas y biológicas de los lagos y ríos de agua dulce, y sus efectos sobre numerosas especies de agua dulce, sobre la composición de las comunidades y sobre la calidad del agua serían predominantemente adversos. En las áreas costeras, el aumento del nivel del mar agravaría las limitaciones de los recursos hídricos, debido a una mayor salinización de los suministros de agua subterránea" (IPCC 2007a). En la Tabla 38 se sintetizan las tendencias esperadas con impactos concretos que podrían sentirse en diferentes sectores:



**Tabla 38: Ejemplos de impactos esperados**

Fenómenos y dirección de las tendencias	Probabilidad de las tendencias futuras *	Ejemplos de impactos importantes proyectados, por sectores (↑=aumento; ↓= disminución)			
		Agricultura, silvicultura y ecosistemas	Recursos hídricos	Salud humana	Industria, asentamientos y sociedad
En la mayoría de las áreas terrestres, días y noches fríos más templados y más escasos, días y noches cálidos más cálidos y más frecuentes	Virtualmente cierto (calentamiento de los días y noches más extremos del año)	<p>↑ Rendimiento en entornos más fríos.</p> <p>↓ Rendimiento en entornos más cálidos.</p> <p>↑ Plagas.</p>	Efectos en recursos hídricos dependientes de la nieve fundida. Efectos sobre ciertos suministros hídricos.	↓ Mortalidad humana por menor exposición al frío.	<p>↓ Demanda de energía para calefacción. ↑ Demanda de refrigeración. Deterioro de calidad del aire en ciudades. Trastornos menores en transporte debidos a nieve o hielo. Efectos sobre el turismo de invierno.</p>
Períodos cálidos / olas de calor. Aumento de la frecuencia en la mayoría de las extensiones terrestres	Muy probable	<p>↓ Rendimiento en regiones más templadas por efecto del estrés térmico. ↑ Peligro de incendios incontrolados.</p>	<p>↑ Demanda hídrica. Problemas de calidad del agua, por ejemplo, floración de algas</p>	<p>↑ Riesgo de mortalidad por efecto del calor, en especial para ancianos, enfermos crónicos, los más pequeños y quienes viven en aislamiento.</p>	<p>↓ Calidad de vida de quienes habitan en áreas cálidas sin una vivienda adecuada. Impactos sobre los ancianos, los pequeños y los pobres.</p>
Episodios de precipitación intensa. Aumento de la frecuencia en la mayoría de las áreas	Muy probable	<p>Daños a los cultivos. Erosión del suelo, imposibilidad de cultivar tierras por anegamiento de los suelos.</p>	Efectos adversos en la calidad del agua superficial y oceánica. Contaminación de suministros hídricos. Posiblemente, menor escasez de agua.	<p>↑ Riesgo de defunciones, lesiones y enfermedades infecciosas, respiratorias y dérmicas.</p>	<p>Alteraciones de los asentamientos del comercio, del transporte y de las sociedades por efectos de las crecidas: presiones sobre las infraestructuras urbanas y rurales. Pérdida de bienes.</p>



Fenómenos y dirección de las tendencias	Probabilidad de las tendencias futuras *	Ejemplos de impactos importantes proyectados, por sectores (↑=aumento; ↓= disminución)			
		Agricultura, silvicultura y ecosistemas	Recursos hídricos	Salud humana	Industria, asentamientos y sociedad
Área afectada por el aumento de las sequías	Probable	Degradación de la tierra. Inhabilitación y daño a cultivos. ↑ Muerte de cabezas de ganado. ↑ Riesgos de incendios incontrolados.	↑ Extensión del estrés hídrico.	↑ Riesgo de escasez de alimentos y de agua ↑ Riesgos de malnutrición y de enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos.	Escasez de agua para asentamientos, industrias y sociedades. Menor potencial de generación hidroeléctrica. Posibles migraciones de la población.
Mayor incidencia de valores extremos de aumento de nivel del mar (excluidos los tsunamis) <sup>+</sup>	Probable °	Salinización de agua de riego, de los estuarios y de los sistemas de agua dulce.	↓ Disponibilidad de agua dulce por intrusión de agua salada.	↑ Riesgo de defunciones y de lesiones por ahogamiento a causa de crecidas. Efectos de las migraciones sobre la salud.	Costos de protección costera, comparados con los costos de reubicación de los usos de la tierra. Posibles desplazamientos de poblaciones y de infraestructura. Véase también el apartado precedente sobre ciclones tropicales.

Fuente: IPCC (2007a).

\* Proyecciones siglo XXI, escenarios IIEE.

+ Valores extremos de elevación de nivel del mar dependen del promedio de nivel del mar y de los sistemas atmosféricos regionales (definido como el 1% más alto de los valores horarios de nivel del mar observado en una estación para un período de referencia dado).

° En todos los escenarios, el valor proyectado del promedio mundial de nivel del mar en 2100 es más alto que en el período de referencia. No se ha evaluado el efecto de los sistemas atmosféricos regionales sobre los valores extremos de nivel del mar.



## 13.4 Cambios esperados en Chile

Utilizando modelos de circulación general de la atmósfera y de los océanos, y modelos regionales, se desarrollaron las simulaciones para llevar los cambios proyectados del clima a la escala nacional. El estudio, encargado por CONAMA y desarrollado por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, utilizó el modelo PRECIS (Providing Regional Climates for Impact Studies), desarrollado por la Oficina Meteorológica del Reino Unido para obtener resultados a nivel local, utilizando una resolución espacial de 25 kilómetros (Universidad de Chile 2006). Además de la evaluación de aspectos climáticos recientes a través de la modelación de las condiciones actuales (datos de 1961 a 1990), en el estudio se realizaron modelaciones para el territorio chileno en dos escenarios, uno moderado (B2) y otro severo (A2), para el período comprendido entre los años 2071 y 2100. Los resultados fueron:

### 1) Temperatura en superficie

Dominan los aumentos de las temperaturas en todas las regiones. En el escenario A2 los aumentos varían entre 2 °C y 4 °C, acentuándose en las regiones andinas y disminuyendo de norte a sur. En el escenario B2, y únicamente en la región austral, algunos sectores experimentan un calentamiento menor a 1 °C. El aumento de temperatura varía estacionalmente, siendo mayor en verano, con aumentos de hasta 5 °C en sectores altos de la cordillera de los Andes. El margen de error de las modelaciones es admisible, se acepta la modelación realizada para los ciclos anuales; los errores son mayores en las estimaciones para verano que para invierno.

### 2) Precipitación

En general, la cordillera de los Andes tiene un factor determinante en el comportamiento esperado de las precipitaciones. Éstas aumentan en la vertiente este (hacia Argentina) y disminuyen hacia la vertiente oeste (territorio chileno), especialmente en las latitudes medias y en las estaciones de verano y otoño. El contraste se acentúa en el escenario A2, donde la precipitación puede duplicarse en el país vecino, y disminuir hasta un cuarto de sus valores actuales en Chile, en ciertos sectores centro y sur durante el verano.

Regionalmente, se espera un aumento de las precipitaciones de primavera y verano en el altiplano chileno. En el norte chico hay aumento de las precipitaciones bajo el escenario B2 en otoño, el cual afecta sólo a la región andina de más al norte para la época de invierno. En la zona central, las precipitaciones disminuyen en ambos escenarios, llegando hasta un 40% menos en las tierras bajas. La zona sur viviría "una transición hacia los montos del clima actual durante otoño e invierno", que sería más rápida en el escenario B2. En el verano las pérdidas de precipitación son del orden del 40%, y de un 25% en primavera. En la región austral, las pérdidas estivales son de un 25%, pero en invierno las condiciones se mantienen normales, y hay un ligero aumento en el extremo sur que se mantiene todo el año. En conclusión, la pluviometría disminuye en todo el país exceptuando la región altiplánica en verano y el extremo austral en invierno.

La validación de los resultados del modelo para la precipitación estiman que los ciclos anuales han sido bien replicados, aún cuando se sobreestima la precipitación en terrenos elevados.



### 3) Impacto hidrológico

La combinación del cambio positivo (aumento) en las temperaturas y negativo (disminución) en las precipitaciones trae para Chile situaciones a considerar. En primer lugar, el aumento de la temperatura se relaciona con la reducción del área andina capaz de acumular nieve, ya que la isoterma 0 °C sufre un alza de altura debido al calentamiento, lo cual se traduce en que "las crecidas invernales de los ríos con cabecera andina se verán incrementadas por el consiguiente aumento de las cuencas aportantes y la reserva nival de agua se verá disminuida" (Universidad de Chile 2006). Por ejemplo, en subcuencas cordilleranas de zonas semiáridas, como son Hurtado, Grande y Cogotí en la cuenca del río Limarí, estas variaciones hacen que los caudales máximos esperados cambien en cuantía y época en que se producen, y llegan, incluso, a cambiar el régimen actual (de nival a pluvial) de ciertas áreas (caso de subcuenca del Cogotí); el caudal anual disminuye más de lo proyectado por la disminución de la precipitación, ya que un clima más cálido aumenta la pérdida por evaporación<sup>41</sup>. Estos cambios implicarán una necesidad de gestión de control de crecidas y de adaptación de la infraestructura de riego de las zonas afectadas: resistir los nuevos caudales de crecidas, y almacenar el agua para los tiempos de escasez.

El informe de variabilidad climática de la Universidad de Chile (2006) también indica que la zona de generación hidroeléctrica del sistema interconectado y de mayor productividad silvoagropecuaria (región cordillerana comprendida entre los 30° y los 40° de latitud sur) posee reducciones del área que se encuentra sobre la isoterma 0 °C en todas las estaciones del año, siendo muy significativas las pérdidas en los cuatro primeros meses de cada año.

### 4) Variaciones del nivel del mar

Durante el último siglo se ha observado que la causa que explica un 80% del aumento del nivel del mar debido al cambio climático, es la expansión o dilatación térmica que sufre el agua, cambiando su densidad. Se espera que para el año 2100 el alza media global originada por la expansión térmica del agua sea de entre 110 mm y 430 mm.

Para Chile, se esperan alzas de entre 16 cm y 28 cm para el escenario A2, y de 14 cm a 24 cm para el escenario B2, los que no parecen ser un problema serio para la mayor parte del litoral nacional.

El año 2008, la Universidad de Chile realizó el estudio "Análisis de vulnerabilidad el sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático", estando el capítulo de recursos hídricos a cargo de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (Universidad de Chile 2008). El estudio realiza una calibración de modelos de simulación hidrológica y posterior modelación de efectos según las nuevas condiciones climáticas esperadas, para nueve cuencas situadas entre las regiones de Coquimbo y de la Araucanía, las que fueron seleccionadas por su bajo grado de intervención antrópica y por su importancia en cuanto a la disponibilidad del recurso para la región analizada, eligiéndose principalmente cuencas de cabecera de regímenes pluviales y nivales. Estas cuencas son: Elqui en Algarrobal, Hurtado en San Agustín e Illapel en las Burras (todas de la Región de Coquimbo); Aconcagua en Chacabucito (Región de Valparaíso); Maipo en San Alfonso (Región Metropolitana);

<sup>41</sup> Charla "Impactos del cambio climático en la hidrología de una cuenca semiárida de régimen nival en Chile", realizada por Sebastián Vicuña (Centro Interdisciplinario en Cambio Global, PUC), en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, el 27 de mayo de 2009.



Teno en junta con Claro, Purapel en Nirivilo y Perquilauquen en San Manuel (Región del Maule); y Cautín en Rari-Ruca (Región de la Araucanía). En el estudio se usaron los modelos WEAP (Water Evaluation and Planning, basado en la humedad del suelo) y GRJ4 (modelo agregado de lluvia-escorrentía), y se tomaron los resultados del estudio de variabilidad climática (Universidad de Chile 2006) como parámetros de entrada, correspondiendo a precipitaciones diarias y mensuales y temperaturas mensuales. La evaporación diaria se obtuvo de forma indirecta relacionando las horas de sol recibidas por el espacio geográfico donde se desea estimar el parámetro. El ejercicio fue realizado para el escenario A2 del IEEE. Los resultados del estudio corresponden a la aproximación más completa y detallada que existe sobre cambios proyectados para el país en materia de cambio climático y recursos hídricos. A continuación, los principales comentarios para cada subcuenca:

- Río Elqui en Algarrobal: los caudales disminuyen en el intervalo analizado, y desplazándose los caudales medios mensuales desde el mes de noviembre (en que se producen actualmente) al de septiembre. El caudal medio mensual más alto disminuiría desde  $25,2 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ , y se incrementa la media mensual para los meses de junio a septiembre. Los demás meses del año, este caudal disminuye. "Deja de existir una concentración de los caudales medios mensuales de mayor magnitud entre los meses de noviembre a enero para dar paso a una expansión de dicho rango a los meses de junio a noviembre en la serie futura".
- Río Hurtado en San Agustín: se produce un cambio de régimen, pasando de ser netamente nival (caudales medios mensuales máximos en diciembre) a un régimen pluvial (caudales medios mensuales máximos en junio), y la cuantía de estos aumenta de  $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $6,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . En cambio, la menor medida bajaría de  $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Además, se espera que la diferencia entre años secos y húmedos se acentúe en el futuro.
- Río Illapel en Las Burras: En esta subcuenca los caudales actuales disminuirían de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  (valor actual) a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Se estiman *peaks* entre los meses de agosto y enero, pero en esta subcuenca se produce una distorsión o ruido en los resultados del modelo PRECIS, generándose variaciones de alta frecuencia en la temperatura, mostrando alzas y bajas muy bruscas. Además se observan tendencias a la baja en los caudales anuales totales, lo que reafirma la tendencia a la baja en la disponibilidad del recurso, y se ve respaldada por la disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura vistos para la zona. Finalmente, se observa un descenso en los valores de caudales asociados al 75 y 85% de probabilidad de excedencia, y el 95% deja de ser nulo como es en la actualidad.
- Aconcagua en Chacabuquito: se adelanta el momento en que ocurriría el derretimiento de las nieves, que hoy comienza en octubre, para comenzar a partir de agosto. Un análisis de sensibilidad revela que la variabilidad futura de la temperatura sería responsable de que en el futuro haya dos máximos de caudales medios mensuales. Se estima que los máximos caudales sean mayores, y que los mínimos sean más frecuentes: los caudales menores a  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  aumentarían su presencia de un 45% a un 70% del tiempo. "El cambio de la temporada de acumulación y derretimiento indica que las condiciones climáticas serán diferentes de las actuales en dimensiones que no es posible determinar a partir de los resultados".
- Río Maipo en San Alfonso: se espera una disminución de caudales, aunque no habría alteraciones en el régimen de la cuenca. Se mantiene el período nival entre octubre a marzo, lo cual podría deberse al embalse El Yeso, que se supone



operativo en la modelación. Sin embargo, en cuanto a caudales totales, se espera una disminución mayor a un 50% (de 70 m<sup>3</sup>/s a 30 m<sup>3</sup>/s), con las graves consecuencias que traería para el abastecimiento de agua potable que demandare la ciudad de Santiago. Si a esto se suma la proyectada disminución de precipitaciones y aumento de temperatura, es probable que sea necesario explotar otras fuentes de agua.

- Purapel en Nirivilo: se proyecta una importante disminución en los caudales medios mensuales, de acuerdo con las series futuras de evaporación y precipitación generadas, aunque se mantiene el período de meses en que se observan los mayores caudales medios, es decir, no habrían cambios en el régimen de la cuenca. Los caudales medios mensuales mayores a 1 m<sup>3</sup>/s disminuyen de un 50% (actual) a un 24,9% entre los años 2035 y 2065.
- Río Teno en junta con Claro: de acuerdo con la disminución de precipitaciones esperada, disminuyen también los caudales medios mensuales, sin verse afectado el régimen de la cuenca (nivo-pluvial), "sin embargo, se ha acrecentado la diferencia entre los caudales generados en forma pluvial y nival, siendo los últimos los más altos". Finalmente, se espera que para un caudal determinado, su probabilidad de excedencia sea menor.
- Perquilauquen en San Manuel: la modelación indica que disminuirían la magnitud de los caudales medios mensuales, y que se perdería la influencia nival de la cuenca (actualmente leve) para consolidarse como una cuenca pluvial. Los caudales medios mensuales por sobre los 10 m<sup>3</sup>/s, disminuirían de un 58% a un 43% en el período comprendido entre el año 2035 y el 2065.
- Cautín en Rari-Ruca: actualmente la temporada de lluvias es marcada en cuanto a época y cuantía, pero en el futuro se espera que los caudales aumenten de forma más paulatina durante el año, y su disponibilidad será más gradual que lo actual. Un cambio esperado que destaca es que actualmente hay un máximo anual, y en el futuro se esperan dos máximos. Los montos promedios disminuirían, y se observa un agravamiento progresivo de escasez al disminuir los montos totales disponibles de cada año. Se espera que cambien los actuales períodos de disponibilidad de agua.

La Tabla 39 muestra el cambio proyectado en cuando a estrés hídrico en las cuencas analizadas. Se considera como estrés hídrico el porcentaje de tiempo en que falla el suministro de agua (la demanda de caudal es mayor a la oferta existente), y se mencionan los meses en que esta situación aumenta respecto de la situación total. Este cálculo se hizo para probabilidades de excedencia de 75%, 85% y 95% para cada cuenca. El estrés hídrico actual y proyectado corresponde a meses con estrés. Por ejemplo, para la cuenca Elqui en Algarrobal, para un caudal de 75% de probabilidad de excedencia, un 25% de los meses hay estrés hídrico, y en un escenario A2 se espera que este porcentaje aumente a un 47%, siendo los meses de enero a mayo aquellos en que aumenta la probabilidad de que haya déficit.



**Tabla 39: Estrés hídrico proyectado**

Cuenca	P. Excedencia 75%		P. Excedencia 85%		P. Excedencia 95%	
	Estrés hídrico actual	Estrés hídrico proyectado	Estrés hídrico actual	Estrés hídrico proyectado	Estrés hídrico actual	Estrés hídrico proyectado
Elqui en Algarrobal	25%	47% (enero, febrero, marzo, abril, mayo)	15%	26% (marzo, abril, junio)	5%	3% (enero, marzo, abril)
	Los caudales máximos se producen actualmente en diciembre y abril; se espera que en el futuro se produzcan en junio, agosto, octubre y noviembre.					
Hurtado en San Agustín	34%	49% (marzo, abril)	21%	43% (febrero, marzo, abril, mayo, septiembre, noviembre, diciembre)	8%	36% (mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre)
	Los caudales máximos se producen actualmente en abril, noviembre y diciembre; se espera que en el futuro se produzcan en abril, julio y agosto.					
Illapel en Las Burras	21%	83% (febrero, abril, mayo, junio, julio, septiembre, noviembre)	10%	65% (febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, noviembre)	0%	0%
	Los caudales máximos se producen actualmente en septiembre, octubre y noviembre; se espera que en el futuro se produzcan en enero, agosto y octubre.					
Aconcagua en Chacabuco	25%	29% (enero, marzo, octubre)	15%	0%	5%	0%
	Los caudales máximos se producen actualmente en diciembre, y en menor medida en enero y noviembre; se espera que en el futuro se produzcan en septiembre, noviembre, y en agosto en menor medida.					
Maipo en San Alfonso	22%	79% (febrero, marzo, abril, octubre, noviembre)	11%	70% (febrero, marzo, abril, mayo, junio, octubre)	1%	54% (enero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, octubre)
	Los caudales máximos se producen actualmente en diciembre, y en menor medida en enero y noviembre; se espera que en el futuro se produzcan en diciembre, enero, y en menor medida en abril.					
Purapel en Nirivilo	12%	2% (enero, febrero)	5%	0%	0%	0%
	Los caudales máximos se producen actualmente en julio; se espera que en el futuro se produzcan en mayo, junio y julio.					
Teno en junta con Claro	27%	50% (enero, febrero, abril, mayo, agosto, septiembre, octubre, diciembre)	13%	37% (enero, febrero, marzo, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre)	0,8%	20% (todos los meses, excepto abril)
	Los caudales máximos se producen actualmente en noviembre-diciembre, y mayo-junio-julio; se espera que en el futuro se produzcan principalmente en noviembre, y en menor medida en diciembre.					



Cuenca	P. Excedencia 75%		P. Excedencia 85%		P. Excedencia 95%	
	Estrés hídrico actual	Estrés hídrico proyectado	Estrés hídrico actual	Estrés hídrico proyectado	Estrés hídrico actual	Estrés hídrico proyectado
Perquilauquén en San Manuel	25%	42,8% (mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre)	15%	29,6% (enero)	5%	5% (marzo)
	Los caudales máximos se producen actualmente en junio y julio; se espera que en el futuro se produzcan en los mismos meses, con distintas magnitudes.					
Cautín en Rari-Ruca	25%	51% (enero, mayo, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre)	15%	36% (enero, junio, julio, agosto, septiembre, octubre)	5%	20% (junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre)
	Los caudales máximos se producen actualmente en junio y julio; se espera que en el futuro se produzcan en junio, julio y agosto.					

Fuente: Elaboración propia en base a Universidad de Chile (2008).

El Cuarto Informe del IPCC describe algunos impactos específicos presentes y futuros esperados para Chile asociados al cambio climático. En cuanto a patrones de precipitación, se identifica una tendencia a la declinación de las precipitaciones al sur del país. En cuanto a ubicación de *stocks* pesqueros, indica que las variaciones del nivel del mar podrían modificar su ubicación en Perú y Chile. Para la agricultura, se proyectan disminuciones futuras en cosechas de cultivos como el maíz y el trigo, para Chile y otros países; en las zonas áridas, como el norte de Chile, el cambio climático "puede llevar a la salinización y desertificación de tierras agrícolas". Se espera una alta variabilidad de los eventos extremos asociados al recurso hídrico, con un alto impacto en el sector hidroeléctrico por anomalías asociadas a los fenómenos de El Niño y La Niña, junto a restricciones de disponibilidad de agua para riego en la zona central debido a las mismas causas, el aumento del nivel del mar produciría daños sanitarios en las ciudades costeras, y contaminación de los acuíferos por intrusión de agua salina. En cuanto a glaciares, se observa una dramática disminución de su volumen respecto a décadas anteriores. Las sequías prolongadas podrían aumentar brotes de síndrome pulmonar provocado por el virus hanta, debidas probablemente a las intensas lluvias e inundaciones que ocurren después de los tiempos secos. Además, la contaminación atmosférica aumentaría por el uso de combustibles fósiles para transporte en la capital, y que el cambio climático aumentará los riesgos de incendios forestales. Chile cumple con siete de las nueve características que determinan la vulnerabilidad al cambio climático (entre otras, ser un país con zonas áridas y semiáridas, con zonas propensas a los desastres naturales, zonas expuestas a sequía y desertificación), razón más que suficiente para que la investigación asociada a la adaptación al cambio climático y a la mitigación de emisiones de GEI sea un tema prioritario dentro del desarrollo nacional (CONAMA 2009b)



### 13.5 Adaptación

Dentro de los ejemplos escogidos de adaptación planificada, el IPCC (2007a) plantea que para los recursos hídricos, algunas opciones o estrategias de adaptación son: extensión de la recogida de aguas lluvias, desarrollo de técnicas de almacenamiento y conservación del agua, reutilización, desalación, eficiencia en su uso y en la irrigación. El marco de políticas para la adaptación estaría dado por políticas hídricas nacionales y gestión integrada de los recursos hídricos. Además, gestión de los fenómenos peligrosos relacionados con el agua. Las principales limitaciones para aplicar las medidas de adaptación son la falta de recursos humanos y financieros, sin embargo, un aspecto positivo es la sinergia que se produciría al realizar, precisamente, una Gestión Integrada de Recursos Hídricos, comprometiendo a otros sectores para quienes también será beneficioso (IPCC 2007a).

### 13.6 Compromisos del país

De acuerdo con la información de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN 2006), el Estado de Chile ha firmado las siguientes convenciones y acuerdos sobre cambio climático:

- Se firma el acuerdo para la creación del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global, en el año 1995, a través del Decreto 1686 del ministerio de Relaciones Exteriores. Este acuerdo fue suscrito en Montevideo, Uruguay. El instituto (IAI) "es una organización intergubernamental compuesta por 19 países de América dedicada a la búsqueda de la excelencia científica, la cooperación internacional y el intercambio abierto de información científica con el fin de mejorar la comprensión de los fenómenos del cambio global y sus implicancias socioeconómicas" (IAI 2009).
- Se promulga la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) a través del Decreto 123 del Ministerio de Relaciones Exteriores, del año 1995. El texto de la Convención fue rectificado, lo cual también fue ratificado por Chile en el año 2001, a través del Decreto 378 del mismo Ministerio.
- En 1997 se promulga un acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) para desarrollar el proyecto "Capacitación de Chile para cumplir sus compromisos con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático", a través del Decreto 659 del Ministerio de Relaciones Exteriores.
- Ratificación del Protocolo de Kyoto. El año 2005 fue publicado el Decreto 349 del Ministerio de Relaciones Exteriores, en que se promulga y ratifica el Protocolo de Kyoto de la CMNUCC y sus Anexos A y B. A través de este Protocolo, los países del Anexo B (mayoritariamente países pertenecientes a la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, OCDE), acuerda reducir sus emisiones antropogénicas de GEI a al menos un 5% por debajo de sus niveles de emisión del año 1990 en el período comprendido entre los años 2008 y 2012 (IPCC 2009)

En 1999, Chile desarrolla la Primera Comunicación Nacional bajo la CMNUCC, donde se compromete, entre otros, a desarrollar un Plan de Acción, que vio la luz el año pasado.



El Plan Nacional de Acción de Cambio Climático “constituye el marco de referencia para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, y de mitigación de las emisiones de los gases de efecto invernadero”; se persigue dar cumplimiento a los compromisos que el país adquirió al ratificar la CMNUCC (CONAMA 2008a).

Además, el Gobierno ha impulsado otras líneas de acción que se relacionan con los impactos esperados del cambio climático, las cuales son la Política para la Protección y Conservación de Glaciares (CONAMA 2009a) y la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas (CONAMA 2007).

En la Política para la Protección y Conservación de Glaciares se reconoce la fragilidad de estas masas de hielo ante los nuevos escenarios de cambio climático, debido al aumento de temperaturas, cambios en las precipitaciones y aumento del nivel del mar, esto debido a la cualidad acumuladora de los glaciares, y a su lento desplazamiento, razones por las que registran con claridad los efectos de fenómenos naturales y antropogénicos. Chile cuenta con 3.100 glaciares inventariados, que ocupan aproximadamente 20.188 km<sup>2</sup> de territorio nacional. Esta política se vincula con la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas ya que contemplan trabajar en la prevención y/o disminución de los conflictos que surjan en función de los diferentes intereses de quienes usan el agua en las cuencas hidrográficas, considerando que los glaciares son cabecera de las cuencas y relevantes fuentes de acumulación. Se plantea el desarrollo de acciones de coordinación entre instituciones y la aplicación de instrumentos de operación gradual hasta conseguir, progresivamente, una sinergia de procesos multisectoriales asociados con el recurso hídrico y con los glaciares en particular. Para ello se instalará una institucionalidad en la cuenca, que coordinará a los sectores público, privado y a la sociedad civil, permitiendo coordinar que las intervenciones en la cuenca permitan la sustentabilidad de la misma y sus recursos, especialmente en cuanto a la calidad y cantidad de sus aguas y de los elementos que la definen, entre ellos, los glaciares de forma central (CONAMA 2009a).

## **13.7 Modelos de evaluación de impacto presente y futuro del cambio climático sobre los aspectos cualitativos y cuantitativos del agua**

### **13.7.1 Impactos sobre recursos hídricos**

El ciclo hidrológico está determinado por el clima, de tal manera que un cambio en éste genera cambios en los distintos elementos del ciclo del agua. Cambios en las precipitaciones determinarán cambios en las características de la escorrentía y en los eventos extremos debidos a crecidas, modificando la intensidad y frecuencia con que ocurren actualmente. Los cambios en la temperatura modificarán los balances de evapotranspiración, humedad del suelo e infiltración a capas más profundas, afectando la forma y cuantía del agua disponible, aunque no son únicamente los aspectos cuantitativos del agua los afectados por cambios en el clima, aquellos relacionados con la disminución de la calidad del agua pueden verse acentuados si se produce un descenso en la cantidad del recurso. Una menor cantidad de agua disponible puede provocar el deterioro de su calidad y el descenso generalizado de los niveles piezométricos (pozos), lo cual en zonas costeras, por ejemplo, facilitaría la intrusión de agua marina y el posterior colapso de la cuenca. El aumento del nivel del mar podría tener como consecuencia para las ciudades costeras de Chile, daños en la disponibilidad



de agua y servicios sanitarios, y contaminación de acuíferos subterráneos por intrusión salina (CONAMA 2009b).

Para la evaluación de los potenciales impactos producidos por el cambio climático, se ha generalizado desde la década pasada la utilización de escenarios de equilibrio basados en Modelos Generales de Clima (GCM) para una serie de períodos de tiempo, como por ejemplo para los años 2020, 2050 y 2100, y escenarios transitorios para representar el impacto de calentamiento debido al efecto invernadero y los cambios inducidos en la precipitación, la temperatura y en la evapotranspiración potencial (Koca *et al.* 2006). El enfoque metodológico de evaluación fundamentalmente consiste en realizar modelizaciones hidrológicas distribuidas a escala mensual junto con la utilización de campos climáticos generados, a su vez, a través de distintas metodologías, que se ven a continuación (Andréasson *et al.* 2004):

- a) Campos climáticos a escala semanal, mensual o anual, ya sean aportados por modelos climáticos regionales anidados en Modelos de Circulación General, y que por lo tanto permiten realizar evaluaciones hidrológicas a esos niveles temporales.

La realidad de los procesos climáticos se puede aproximar por su representación en términos matemáticos basados en leyes físicas. En la práctica, la complejidad del sistema hace que no se puedan resolver estrictamente, y sólo es posible realizar aproximaciones a estas ecuaciones utilizando sistemas computacionales. Por consiguiente, la formulación matemática se desarrolla mediante un programa informático simplificado, al que se denomina 'modelo climático'.

Para la evaluación del impacto de las perturbaciones antropogénicas sobre el sistema climático mediante proyecciones futuras, es necesario calcular los efectos de todos los procesos claves que intervienen en los componentes del sistema y sus interacciones correspondientes.

El sistema climático puede ser representado mediante modelos de diferente grado de complejidad. Para la utilización de los mismos el IPCC (2007b), aconseja tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las dimensiones espaciales del modelo.
- La explicitabilidad de los procesos físicos.
- El nivel en que se introducen las parametrizaciones empíricas y los costos computacionales de la ejecución del modelo.

Como se mencionó antes, los modelos climáticos intentan simular el comportamiento del sistema climático. El objetivo último es comprender los principales procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el clima. Los modelos pueden ser usados para simular el clima en una amplia variedad de escalas temporales y espaciales.

- b) Campos climáticos basados en análisis de sensibilidad a variaciones climáticas, los cuales consisten en simples variaciones arbitrarias de las variables climáticas relevantes.
- c) Escenarios climáticos regionales resultantes de los Modelos Regionales de Clima. Este tipo de modelos se ha desarrollado con fuerza en la presente década en Europa. Las simulaciones realizadas con estos modelos consideran, por ejemplo, las



particularidades orográficas de la región simulada y, por lo tanto, generan resultados con mejor resolución espacial.

### **13.7.2 Escenarios de Cambio Climático**

#### **13.7.2.1 Escenarios basados en Modelos Generales de Circulación**

Un Modelo General de Circulación (GCM) representa el comportamiento de la atmósfera, los océanos, las masas terrestres y las grandes capas de hielo; simula el comportamiento del sistema climático a nivel planetario. Diferentes GCM no solamente generan promedios globales de temperatura, sino que también reproducen diferentes patrones de cambio en temperatura, precipitación y otras variables. Los distintos escenarios de GEI ocupados por los diferentes experimentos utilizando GCM son expresados en términos de concentraciones equivalentes de CO<sub>2</sub> (Koca *et al.* 2006).

#### **13.7.2.2 Escenarios basados en el ajuste estadístico (*downscaling*) de los campos climáticos generados por los GCM**

Los actuales GCM se han desarrollado a escala global, por lo tanto, sus resultados son demasiado gruesos como para influir en políticas a nivel local. Ajustar los resultados de los modelos generales a nivel local (proceso de *downscaling*) ayuda a los investigadores y planificadores a nivel local y regional a mejorar la apreciación respecto a la forma en que los cambios climáticos podrían impactar su área de estudio. Esto se realiza a través de ajuste estadístico (*statistical downscaling*) entre los resultados (*outputs*) del modelo y la información generada por estaciones locales de clima (IPCC 2007a)

Algunos GCM validados y reconocidos a nivel mundial son los siguientes:

- Canadian Global Coupled Model (CGCM2),
- UK's Hadley Centre Model (HadCM3),
- Australian Commonwealth Scientific and Industrial Research (CSIRO)

Por su parte, el reporte especial sobre escenarios de emisiones (IPCC 2001) ha definido cuatro futuros escenarios globales de emisión de GEI, que se vieron con más detalle en páginas precedentes.

### **13.7.3 Tipos de experimento (simulaciones) para la evaluación de impactos de cambio climático**

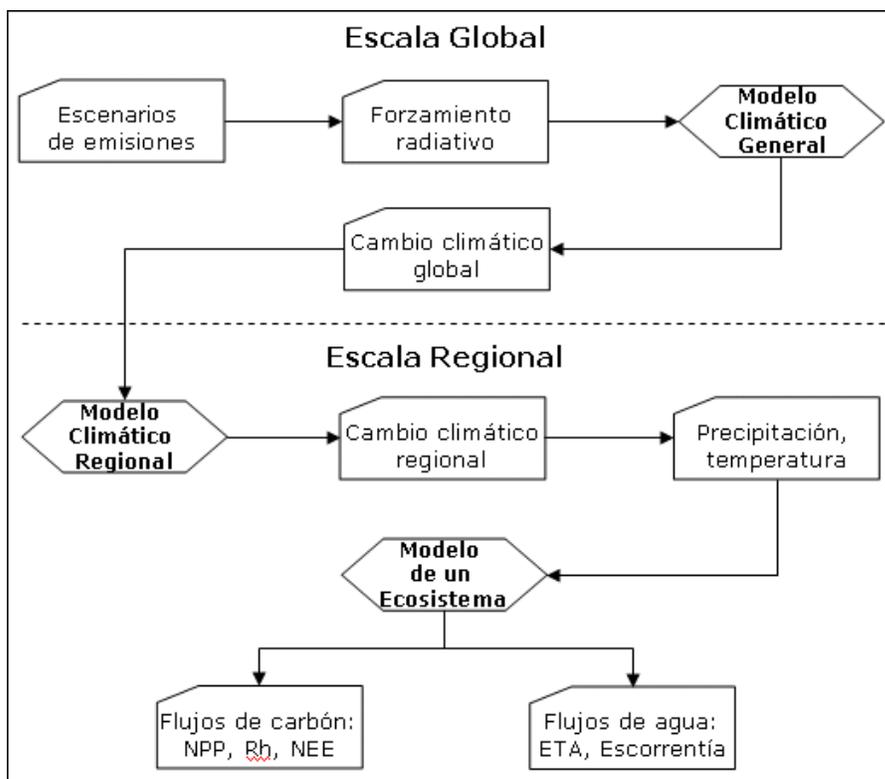
La evaluación de los impactos producidos por el cambio climático por la comunidad científica mundial preferido alimentar los modelos de impacto (a veces llamados submodelos), con las salidas de los modelos de circulación general, o los que podrían llamarse 'de segunda generación' o regionales, esperando el desarrollo futuro de modelos zonales que sean capaces de abordar problemas de intercambio de energía a nivel de un territorio pequeño como el que pueden abarcar cuencas pequeñas y medianas.

Es frecuente encontrar estudios que tratan de evaluar el impacto de los recursos hídricos en diversas cuencas del mundo, donde un modelo hidrológico, con buenos resultados para evaluar los balances temporales del ciclo hidrológico, es usado para evaluar el cambio en los recursos utilizando como datos de entrada los campos de temperatura y precipitación

resultantes los modelos climáticos regionales asociados a los escenarios futuros de emisiones.

A continuación, la Figura 9 muestra de forma conceptual el modo en que se realiza el proceso de *downscaling* para pasar de un modelo a escala global a uno de escala regional, e incluso, a una escala particular de un ecosistema en específico.

**Figura 9: Esquema conceptual de *downscaling***



Fuente: Morales *et al.* 2007.

En la Figura 9:

NPP: Producción neta primaria / Rh: Respiración heterotrófica / NEE: Intercambio neto de carbono ecosistémico / ETA: Evapotranspiración actual.

Forzamiento radiativo: "cambio en la irradiación neta (expresada en  $Wm^{-2}$ ) en la tropopausa debido a un cambio interno o un cambio en el forzamiento externo del sistema climático (por ejemplo, un cambio en la concentración de dióxido de carbono o la potencia del sol. Normalmente el forzamiento radiativo se calcula después de permitir que las temperaturas estratosféricas se reajusten al equilibrio radiativo, pero manteniendo fijas todas las propiedades troposféricas en sus valores sin perturbaciones".

En general las simulaciones clásicas consisten en:

- Modelación histórica, utilizando las series de tiempo correspondientes a la climatología observada (por ejemplo 1901-2002).
- Simulación utilizando las series de tiempo correspondientes a la climatología futura para el escenario de calentamiento global B2.



- Simulación utilizando las series de tiempo correspondientes a la climatología futura para el escenario de calentamiento global A2.

Para el período histórico (1901-2002), las series de tiempo mensual correspondientes a la temperatura media, precipitación y porcentaje de cobertura de nubes pueden ser obtenidas, con resolución espacial de  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C} \times 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para todo el territorio chileno, desde la base de datos climáticos CRU TS 2.1 del Climate Research Unit (CRU), Universidad de East Anglia (Mitchell and Jones 2005). Las series de tiempo (2003-2100) correspondientes a los escenarios futuros de calentamiento global pueden ser obtenidas desde la base de datos TYN SC 2.0, del Tyndall Centre for Climate Change Reserch (Mitchell *et al.* 2004).

En general, los modelos son la mejor herramienta actualmente disponible para realizar estimaciones sobre los cambios que podrían generarse debido al cambio climático, de forma global y local. Sin embargo, al ser proyecciones simuladas en función de escenarios de emisiones proyectados, siempre es necesario tener en cuenta que sus resultados pueden variar a medida que haya modificaciones en las condiciones actuales de desarrollo del ser humano. Se deben tomar como un indicador útil para guiar las políticas públicas que se orienten a mejorar la adaptación de Chile al cambio climático, y a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, atendiendo a la realidad local.



## **14 ESTIMACIÓN DE LAS DEMANDAS FUTURAS DE AGUA, CONSUNTIVAS Y NO CONSUNTIVAS, EN LAS CUENCAS PILOTO**

### **14.1 Introducción**

Un aspecto relevante en el desarrollo de una propuesta de gestión de los recursos hídricos es tener una aproximación de la tendencia futura que se puede esperar en el consumo de agua por parte de los distintos usuarios de este recurso. Una demanda creciente por parte de los distintos sectores puede traducirse en problemas de carácter ambiental como el agotamiento del recurso o el aumento de la carga contaminante por reducción del poder de dilución de los cuerpos hídricos receptores, aspectos que pueden derivar en conflictos entre socio-ambientales entre los diferentes usuarios y una complejización de la gestión por parte de las autoridades que limite un enfoque más integrado.

### **14.2 Metodología de trabajo**

En esta etapa del estudio se investigó sobre las proyecciones de demanda futura para cada cuenca para escenarios dentro de diez y veinticinco años, tomando como base el año 2005. Se realizó una matriz de doble entrada con las cuencas en estudio y los usos del agua, que corresponden a: agrícola, agua potable, industrial, minero, energético, forestal, acuícola, turístico, receptor de contaminantes y caudal ecológico.

La información incorporada en esta matriz se obtiene a partir de dos estudios solicitados por la Dirección General de Aguas a Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a y 2007b) sobre estimaciones de demandas de agua y proyecciones futuras, para la Zona I Norte (Regiones I a IV) y la Zona II (Regiones V a XII y Región Metropolitana) (Ayala, Cabrera y Asociados 2007a y 2007b)

Estos dos informes corresponden a los documentos base para la elaboración de este capítulo. A continuación se explica el método y consideraciones que fueron utilizados por DGA para realizar este estudio, y estimar las demandas a futuro.

#### **Uso Agropecuario y Forestal**

Las demandas actuales de agua de riego se obtuvieron del VI Censo Nacional Agropecuario del INE, Catastro Vitivinícola del SAG, Catastros Frutícolas de CIREN-CORFO y en base a estudios efectuados con posterioridad al año 1993 por parte de instituciones como la Comisión Nacional de Riego (CNR) y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), entre otros. La información de riego se adecuó a nivel de cuenca en función del conocimiento sobre el ordenamiento territorial del uso del suelo de los expertos que desarrollaron el trabajo para la DGA. En Chile se carece de información a nivel de cuenca, más bien los trabajos que existen son a nivel de sectores de riego, los cuales son coincidentes con las secciones de riego que operan a nivel de organizaciones de usuarios de aguas. La representación de las cuencas se efectuó esencialmente en función de la distribución de las comunas al interior de ellas.

Se usó, en la determinación de las demandas de agua, información referida a las eficiencias de riego existentes a nivel predial, aunque esta información normalmente es



cuestionable puesto que no se sabe con precisión que sistema de riego se utiliza a esta escala.

En el caso de las demandas forestales, las plantaciones de eucaliptus son trabajadas a nivel de secano con un pequeño riego de implantación.

### **Uso Agua Potable**

Para la determinación de las demandas actuales de agua potable se usaron dos fuentes de información; para el uso urbano fue utilizada información de los planes de desarrollo de las empresas de servicios sanitarios (biblioteca de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS), mientras que para el agua potable rural se usó información del Programa de Agua Potable Rural (APR) de la DOH.

La estimación de las demandas futuras se basó en las proyecciones de los mismos planes de desarrollo, considerando diferentes tasas de crecimiento de la población dependiendo de la ciudad o centro urbano de que se trate. Por cantidad y calidad de la información, se puede decir que las demandas asociadas a agua potable son las que están mejor determinadas, tanto para situación actual como para la futura.

### **Uso Industrial**

El uso industrial del agua es uno de los más difíciles de determinar, dado que la industria agrupa un gran número de sectores productivos, cada uno con realidades particulares de demandas, eficiencias, disponibilidad de información, y otras características. Por esto, la determinación de las demandas actuales se obtuvo de forma indirecta a partir del estudio antes realizado (en el año 1996), que se actualizó a partir de la variación del PIB observada en el período 1993-2005.

Para la estimación de las demandas futuras se hicieron estimaciones regionales del PIB futuro lo que agrega un grado de incertidumbre asociado a la estimación del crecimiento del sector.

Adicional a lo anterior está el problema de distribuir geográficamente las demandas, debido a que en este uso en particular, la demanda se encuentra muy atomizada, por lo que para lograr el objetivo se ha supuesto la misma distribución que se conoce asociada a las descargas de Residuos industriales Líquidos, o RILES.

### **Uso Hidroeléctrico**

La información utilizada para la cuantificación de las demandas actuales asociadas a la generación de energía corresponde principalmente a la que estuvo disponible en la página web del Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado del Norte Grande de Chile (CEDC-SING). Allí se incluye la información técnica de las centrales que conforman el sistema, tanto termoeléctricas como hidroeléctricas.

Las demandas actuales quedan determinadas con un buen grado de aproximación, sin embargo, para la estimación de las demandas futuras, las proyecciones son difíciles. En la zona norte, las demandas de energía eléctrica están directamente ligadas con la producción de la industria minera, por lo que es difícil estimar cómo evolucionarán en el mediano y largo plazo. Así, las estimaciones realizadas tienen carácter de valores de referencia.



## **Uso Minero**

La determinación de las demandas actuales asociadas a la actividad minera se realizó a partir de la producción de los principales centros mineros según lo informado por el Anuario COCHILCO del año 2005, y de los valores medios de consumo de agua asociados a los distintos rubros productivos (Res.743 de la DGA). En el caso de algunos procesos no incluidos en la resolución citada, se realizaron estimaciones a partir de antecedentes obtenidos de los proyectos presentados al SEIA.

Las demandas de agua para uso minero por Región se distribuyeron en las diferentes cuencas a partir de información del atlas de faenas mineras, del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Además, en algunas de las grandes mineras, la fuente de agua no coincide físicamente con el lugar de las faenas donde ésta es consumida, situación considerada al realizar el estudio.

Las proyecciones de uso futuro se han realizado sobre supuestos inciertos, dado que (salvo para el cobre) se dispone de proyecciones de producción al año 2012 por parte de COCHILCO, y los productos metálicos y no metálicos se proyectaron en función de niveles de producción a partir del Índice de Producción Minera (IPM), utilizado como indicador en el corto plazo, ya que a largo plazo su validez es limitada debido a la influencia de factores coyunturales que pueden afectar a esta industria en determinados períodos.

## **Uso en Turismo**

El uso del agua asociado al turismo tiene dos componentes, uno asociado a los caudales mínimos requeridos en los cauces para fines de recreación y paisajismo, y el otro asociado al consumo de los turistas en centros turísticos, hoteles y alojamientos en general. El primero de ellos es muy difícil de determinar, por lo que se ha centrado el análisis en el segundo componente señalado. Para esto se cuantificaron los consumos asociados a la población flotante en situación actual (información del año 2005) y se ha proyectado linealmente el crecimiento del número de turistas en el tiempo, según datos aportados por el Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR) del año 2005. Estas demandas corresponden a valores de referencia para fijar órdenes de magnitud de las demandas asociadas a este uso, aunque ya están incluidas en las demandas de agua potable.

## **Uso Acuícola**

Las demandas de agua en acuicultura están relacionadas con los tipos de cultivos que se desarrollen y con los niveles de producción que se alcance.

## **Uso como Receptor de Contaminantes**

El uso que representa la necesidad de disponer de caudales en los cauces para dilución de descargas, tanto de aguas servidas domésticas como de riles en determinadas cuencas, presenta una tendencia a desaparecer en el tiempo dadas las exigencias ambientales vigentes, que procuran un tratamiento a las descargas de forma de asegurar niveles mínimos de calidad de los efluentes. No obstante, al 2005 existían efluentes (tanto domésticos como industriales) que no eran sometidos a tratamiento previo a la descarga a los cauces. Para cuantificar los requerimientos actuales de caudal asociados a los cauces, se utilizó la información contenida en el estudio 'Diagnóstico y



Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad' del año 2004<sup>42</sup>, el que usó información del año 2001 actualizada al 2005 para el caso de las aguas servidas domésticas, y que para el caso de RILES contó con información parcial. No obstante, ya está en vigencia el DS 90 de septiembre de 2006, que restringe los caudales de descarga, y a futuro debiera desaparecer como requerimiento, dada la normativa vigente.

### **Uso como Caudal Ecológico**

El caudal ecológico corresponde a un uso *in situ* que se determinó como el 10% del caudal medio anual, debido a que se cuenta con amplios registros de esta variable y, por tanto, se pueden ofrecer resultados uniformes para un mayor número de cuencas. Estos caudales se estimaron para estaciones de cabecera de las cuencas, correspondientes a valores no alterados por extracciones de las zonas de riego. La información generada se complementó con una serie de caudales ecológicos determinados por la DGA en estudios previos.

Todos los análisis que se realizan para las cuencas principales de este proyecto constituyen información que debiese ser utilizada sólo como referencia, puesto que dadas las limitaciones indicadas por el documento utilizado como base, no sería apropiado concluir respecto a la situación de las cuencas. Para ello se requeriría desarrollar estudios a menor escala geográfica, focalizados en áreas específicas, y donde, además de evaluar las demandas, se haga una evaluación de la oferta histórica de los recursos hídricos.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, a continuación se presenta un análisis de estas proyecciones en la demanda por cuenca y por sector usuario.

## **14.3 Análisis de proyecciones de demanda**

### **14.3.1 Cuenca del Río Lluta**

Para el caso del río Lluta se espera un incremento en las demandas de agua potable que estaría asociado a un aumento en la población de la zona, principalmente en la ciudad de Arica; sin embargo, es en el sector minero, como principal usuario del agua luego de la agricultura, donde se esperaría el mayor aumento en la demanda. En esta cuenca aparece el turismo como un usuario de menor escala pero creciente, por su condición privilegiada respecto de los visitantes provenientes de Bolivia.

En esta cuenca la actividad agropecuaria, que corresponde al principal usuario de agua, se proyecta constante puesto que tanto las aguas superficiales como las subterráneas se encuentran declaradas agotadas o cerradas<sup>43</sup>, según corresponde, lo que impediría un aumento en el número de derechos de aprovechamiento existentes.

A pesar de que en la Tabla 40 y Gráfico 6, el sector energético aparece como un usuario ausente, según lo indicado por la DGA regional y por la Junta de Vigilancia del Río

<sup>42</sup> En bibliografía del informe, ver CADE-IDEPE 2004a, 2004b, 2004c, 2004d, 2004e, 2004f, 2004g y 2004h.

<sup>43</sup> Comunicación personal Sr. Waldo Contreras Director Regional de Aguas región de Arica y Parinacota, 08 de junio del 2009.

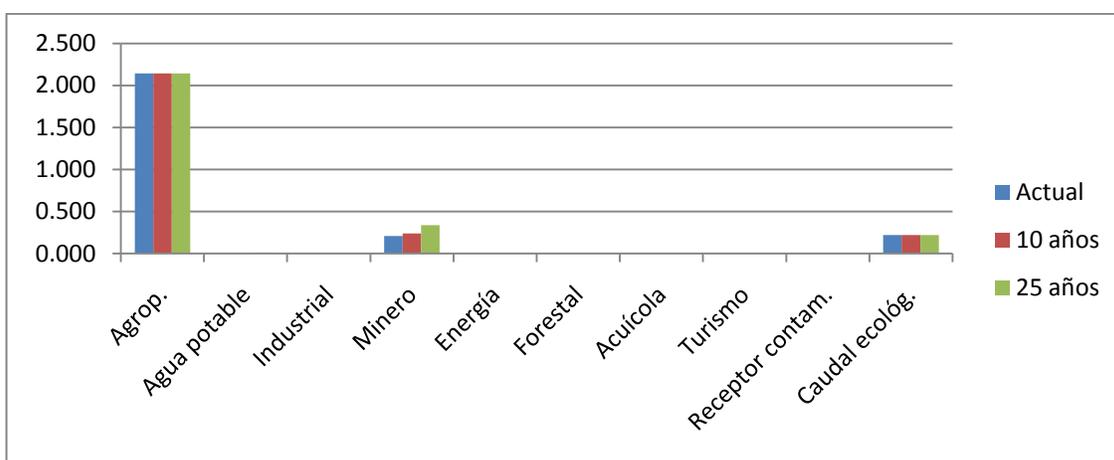
Lluta<sup>44</sup>, se proyecta la generación de hidroelectricidad utilizando las aguas que serán embalsadas con fines de riego.

**Tabla 40: Demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Lluta por uso**

Proyección	Agrop.	Agua potable	Industrial	Minero	Energía	Forestal	Acuícola	Turismo	Receptor contam.	Caudal ecológ.
Actual	2,142	0,007	0,000	0,209	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,220
10 años	2,142	0,009	0,000	0,237	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,220
25 años	2,142	0,012	0,000	0,338	0,000	0,000	0,000	0,006	0,000	0,220

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a)

**Gráfico 6: Representación gráfica de la demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Lluta por uso**



Fuente: Elaboración propia en base a Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a)

### 14.3.2 Cuenca del Río Loa

Según los usos proyectados para 25 años (Tabla 41 y Gráfico 7), la demanda sobre la cuenca del río Loa se incrementaría en un 52,7%, concentrando este incremento en los usos para agua potable y especialmente en el uso minero, que actualmente representa un 66,54% del uso total en esta cuenca. El agua potable demandaría 21,8% más de lo que actualmente requiere.

Para analizar los impactos desde el punto de vista del uso, es fundamental tener en cuenta que la cuenca del Loa está declarada agotada en términos legales y físicos. A esta realidad se agrega el hecho de que, desde el punto de vista de la eficiencia del agua, no existen por el momento posibilidades prácticas de aumentar la disponibilidad hídrica, mediante una mayor economía del agua, ya que las empresas han alcanzado un nivel de eficiencia del agua que no sería posible de incrementar con los recursos tecnológicos actualmente disponibles.

<sup>44</sup> Comunicación personal Sr. Mario Vargas, Secretario ejecutivo Mesa del Agua Región Arica y Parinacota y Sr. Michael Humire Presidente Junta de Vigilancia río Lluta, 08 de junio del 2009.



Bajo estas dos consideraciones, existe una posibilidad cierta de generar impactos de gran envergadura sobre el sistema hidrológico, resultante de la presión de una demanda que crecerá en más de un 50%, lo cual se agrava si se considera que no hay posibilidad alguna (ni tampoco pronosticada) de crecer en base a la disminución de otro sector económico. En términos de ajustes mediante la incorporación de tecnología de mayor eficiencia en el uso del agua, tampoco hay posibilidades prácticas, ya que la agricultura, que sería la única actividad que pudiese generar una mayor disponibilidad por este factor, es muy poco significativa, por lo que cualquier esfuerzo al respecto no tendría efectos apreciables.

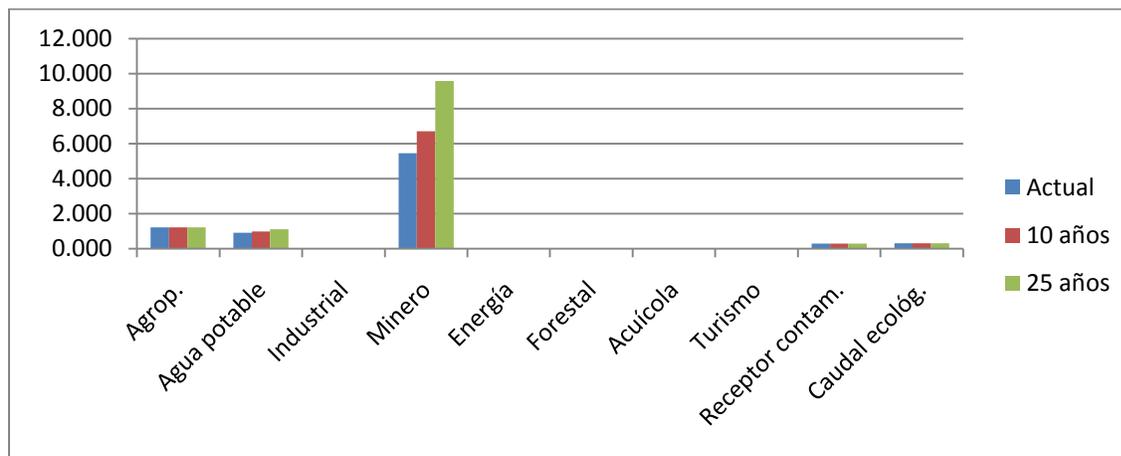
Por todas las razones expuestas, el escenario futuro es absolutamente no sustentable y generaría impactos más relevantes que los que hoy se manifiestan en sectores como Quillagua, donde la falta de agua ha generado daños en la biodiversidad de los ecosistemas. La situación del Loa, ejemplificada con un determinado sector, debería tender a generalizarse, provocando daños muy difíciles de mitigar en toda la extensión de la cuenca.

**Tabla 41: Demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Loa por uso**

Proyección	Agrop.	Agua potable	Industrial	Minero	Energía	Forestal	Acuícola	Turismo	Receptor contam.	Caudal ecológ.
Actual	1,214	0,916	0,000	5,453	0,000	0,000	0,000	0,001	0,292	0,310
10 años	1,214	0,983	0,000	6,708	0,000	0,000	0,000	0,001	0,292	0,310
25 años	1,214	1,116	0,000	9,569	0,000	0,000	0,000	0,002	0,292	0,310

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a)

**Gráfico 7: Representación gráfica de la demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Loa por uso**



Fuente: Elaboración propia en base a Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a).

### 14.3.3 Cuenca del Río Copiapó

En esta cuenca, el riego es el principal uso del agua de la cuenca, y de acuerdo a las proyecciones realizadas, podría presentar una leve disminución en su demanda, lo que se podría explicar por una transferencia de caudales hacia otros usos demandantes y competitivos como por ejemplo, el uso minero, que según las estimaciones realizadas

por DGA debieran presentar un aumento en la demanda que podría alcanzar sobre un 350% del valor actual.

Aunque en menor escala, el uso industrial presenta una proyección de aumento en la demanda explicado por la relación de esta actividad con el principal sector económico de la Región que corresponde a la minería, es decir, se proyecta un aumento en el uso de recursos hídricos a manos del sector industrial por la aparición y aumento de producción de industrias metálicas que utilizan como materia prima el producto minero regional.

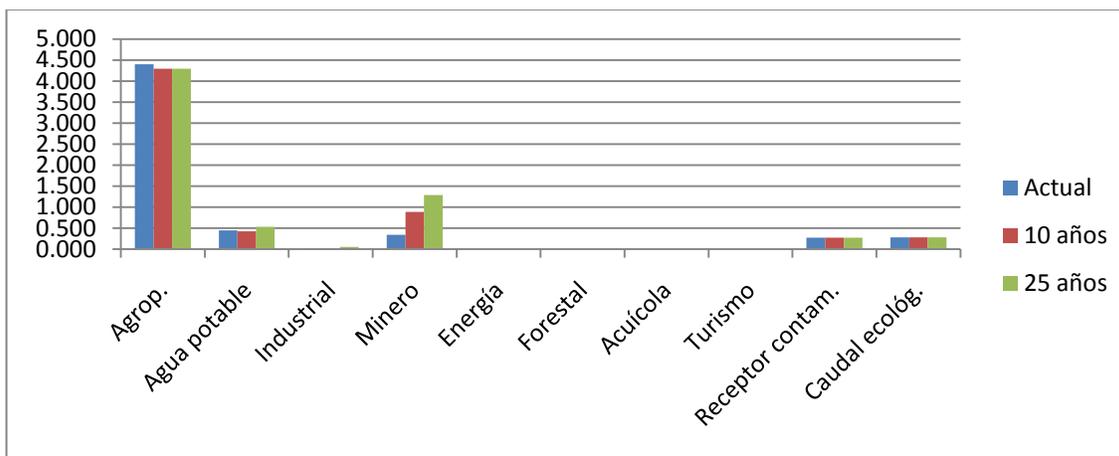
A pesar de que las proyecciones (Tabla 42 y Gráfico 8) de la demanda para otros usos no muestran un aumento, la condición de agotamiento legal y físico de las aguas que presenta esta cuenca, podría traducirse en serios conflictos entre usuarios de agua por una agudización de la competencia por el recurso escaso, así también sitios de interés ecológico como el humedal de Copiapó y las vegas alto andinas podrían verse fuertemente afectadas por la escasez de agua, dado que en esta cuenca el caudal ecológico es sólo referencial, puesto que los derechos de agua constituidos previos al año 2005 no son sometidos a la restricción para la mantención de dicho caudal.

**Tabla 42: Demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Copiapó por uso**

Proyección	Agrop.	Agua potable	Industrial	Minero	Energía	Forestal	Acuícola	Turismo	Receptor contam.	Caudal ecológ.
Actual	4,402	0,445	0,010	0,341	0,000	0,000	0,000	0,000	0,272	0,280
10 años	4,292	0,421	0,019	0,887	0,000	0,000	0,000	0,000	0,272	0,280
25 años	4,292	0,532	0,052	1,286	0,000	0,000	0,000	0,000	0,272	0,280

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a)

**Gráfico 8: Representación gráfica de la demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Copiapó por uso**



Fuente: Elaboración propia en base a Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a).

#### 14.3.4 Cuenca del Río Limarí

La cuenca del Limarí en términos hídricos se identifica fundamentalmente con la actividad agrícola, la que actualmente ocupa un 79,37% del total del agua de la cuenca. Los demás usos de importancia relativa son el consumo de agua potable (6,07%), energía (5,87%) y caudal ecológico (5,35), tal como puede observarse en la Tabla 43 y



en el Gráfico 9. Se evidencia que entre los usos industriales y mineros se ocupa un 2,32% del recurso, lo que en caudal implica casi 0,5 m<sup>3</sup>/s, siendo la gran mayoría de este reducido caudal, responsabilidad de la minería.

Al observar las proyecciones para 25 años, se pueden identificar diferencias que introducen cambios en las proporciones de los distintos usos, pero manteniendo la gran importancia del sector agrícola. El crecimiento de la demanda de agua para la minería ocurriría fundamentalmente hacia la parte alta de la cuenca, lo que podría hacer variar la actual condición de las aguas que alimentan la agricultura de la cuenca aguas abajo, además de las características químicas para el uso de la población.

Teniendo en cuenta que la frontera agrícola está prácticamente cerrada en el valle del Limarí y que la cuenca está sobre explotada, salvo para los sectores acuíferos de los ríos Grande, Polonio y Rapel, la demanda exponencial que origina el desarrollo de la minería y la industria debiera ser compensada por una reducción de la demanda agrícola situación que no se recoge en estas proyecciones. Es esperable que, ya sea que los usos mineros de la parte alta de la cuenca se basen en la extracción de agua subterránea o superficial, se genere una reducción en los caudales de los ríos aguas arriba de los embalses, ya sea por disminución por efecto del caudal directamente extraído, o por reducción de los aportes netos provenientes de los acuíferos a los ríos.

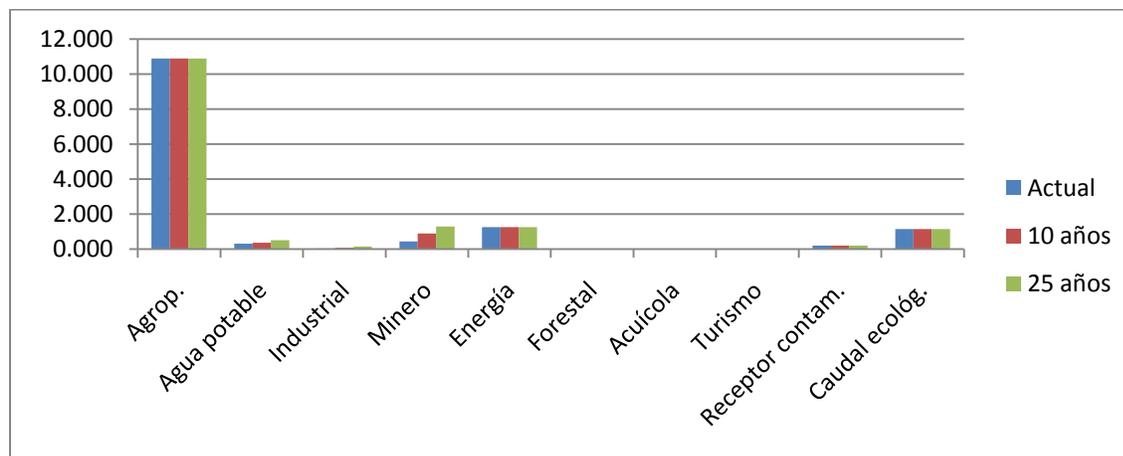
En conclusión, se podrían esperar impactos a partir de los incrementos de la demanda para usos mineros e industriales en términos de la calidad de las aguas para regadío y uso de la población, y en términos de distribución y disponibilidad de aguas.

**Tabla 43: Demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Limarí por uso**

Proyección	Agrop.	Agua potable	Industrial	Minero	Energía	Forestal	Acuícola	Turismo	Receptor contam.	Caudal ecológ.
Actual	10,880	0,310	0,047	0,430	1,250	0,010	0,000	0,001	0,203	1,140
10 años	10,880	0,373	0,072	0,887	1,250	0,010	0,000	0,001	0,203	1,140
25 años	10,880	0,507	0,139	1,285	1,250	0,010	0,000	0,001	0,203	1,140

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda.2007a

**Gráfico 9: Representación de la demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Limarí por uso**



Fuente: Elaboración propia en base a Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a)

### 14.3.5 Cuenca del Río Maipo

En esta cuenca, como se observa en la Tabla 44 y el Gráfico 10, el principal usuario de agua en términos volumétricos es la generación de energía, la que se supone invariante a pesar de existir en la actualidad proyectos importantes de generación hidroeléctrica como lo es el proyecto Alto Maipo de Aes Gener. Luego, le sigue en magnitud el uso agrícola, el cual proyecta una leve disminución de la demanda de 1,9 m<sup>3</sup>/s. Se estima un incremento de la demanda del sector industrial que demandaría 17,228 m<sup>3</sup>/s, por sobre los actuales 10,42 m<sup>3</sup>/s, a su vez se observa un diferencial de 6,27 m<sup>3</sup>/s que serán demandados para agua potable el cual estaría asociado al aumento de la población, principalmente en la ciudad de Santiago. Las proyecciones que estiman una reducción de la demanda para uso agrícola, a partir de la expansión de las ciudades sobre suelos agrícolas, permiten hacer el supuesto de que, a partir del sector medio de la cuenca, aguas abajo de la confluencia de los ríos Mapocho y Maipo, habrá un incremento del caudal en éste último, lo que podría tener efectos positivos en lo relativo a la dilución de contaminantes, conservación de los ambientes ribereños y humedales de la parte baja de la cuenca, situación que se vería reflejada en el aumento de la estimación del caudal ecológico.

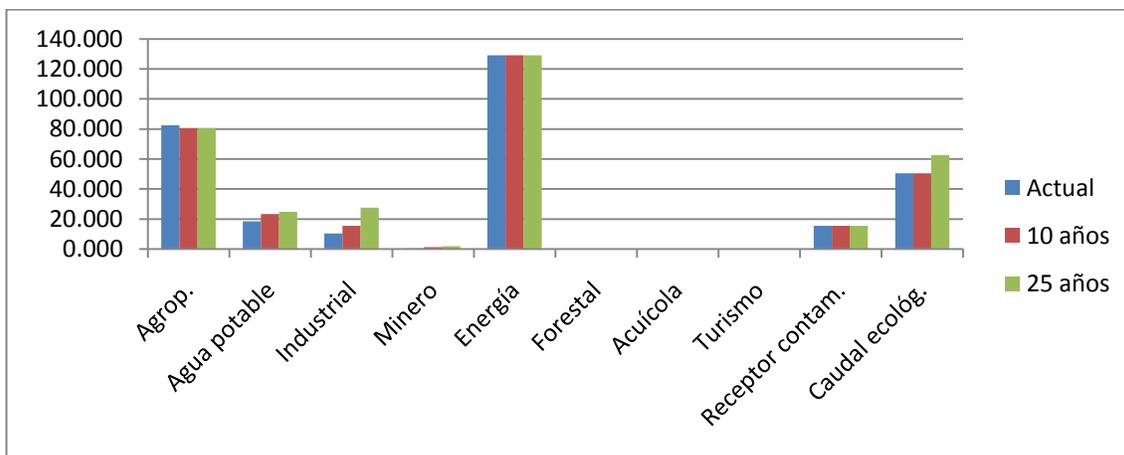
El análisis anterior, y el hecho que la cuenca del Maipo en términos de aguas superficiales se encuentra agotada, implicaría que todo nuevo incremento en la demanda de agua provendría necesariamente de aguas subterráneas o de el cambio de uso del agua desde otro sector a través de la transferencia de derechos de aprovechamiento, es decir una situación de competencia entre usos.

**Tabla 44: Demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Maipo por uso**

Proyección	Agrop.	Agua potable	Industrial	Minero	Energía	Forestal	Acuícola	Turismo	Receptor contam.	Caudal ecológ.
Actual	82,361	18,510	10,421	0,481	129,040	0,096	0,000	0,002	15,417	50,400
10 años	80,459	23,352	15,396	1,373	129,040	0,160	0,000	0,004	15,417	50,400
25 años	80,459	24,780	27,648	1,991	129,040	0,160	0,000	0,008	15,417	62,600

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b)

**Gráfico 10: Representación gráfica de la demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la Cuenca del río Maipo por uso**



Fuente: Elaboración propia en base a Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a)



### 14.3.6 Cuenca del Río Maule

La cuenca del río Maule es reconocida por su doble vocación en el uso del agua y los conflictos que por ello se han generado en el tiempo. Estos usos principales, como se observa en la Tabla 45 y el Gráfico 11, son la generación hidroeléctrica y el riego agrícola. Es precisamente entre estos usos que las proyecciones muestran un aumento de sus demandas. Mientras que en la generación de energía se esperaría un aumento de alrededor de 60 m<sup>3</sup>/s, en la agricultura se proyecta un aumento de aproximadamente 5,5 m<sup>3</sup>/s, situación que podría agudizar los conflictos sectoriales.

Simultáneamente, un aumento de la población en la cuenca proyecta un crecimiento de la demanda de este sector, al igual que en el sector industrial que proyecta un aumento de más del doble del consumo actual, debido a un crecimiento en las actividades silvoagropecuarias donde destacan la producción de celulosa, azúcar, arroz, cereales, conservas, jugos y otros rubros.

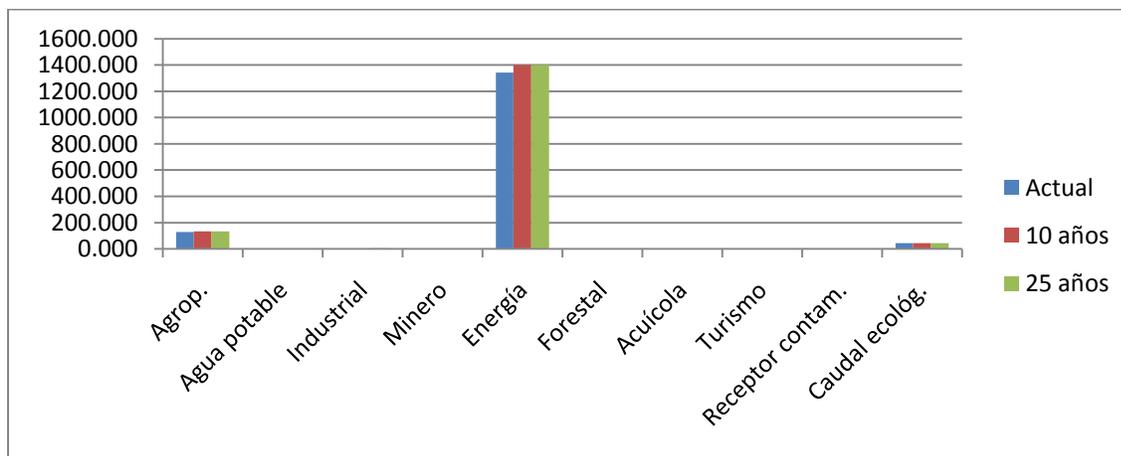
En esta cuenca aparece el sector forestal, que aunque de menor relevancia en el uso del agua, igualmente proyecta un incremento en su demanda por el aumento en capacidad productiva de las plantas forestales y por el aumento de superficie con fines forestales.

**Tabla 45: Demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Maule por uso**

Proyección	Agrop.	Agua potable	Industrial	Minero	Energía	Forestal	Acuícola	Turismo	Receptor contam.	Caudal ecológ.
Actual	128,333	1,426	2,571	0,000	1342,412	0,634	0,000	0,000	0,836	44,860
10 años	133,946	1,727	3,517	0,000	1401,412	1,058	0,000	0,000	0,836	44,860
25 años	133,946	2,061	5,626	0,000	1401,412	1,058	0,000	0,000	0,836	44,860

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b)

**Gráfico 11: Representación gráfica de la demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Maule por uso**



Fuente: Elaboración propia en base a Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b)

### 14.3.7 Cuenca del Río Biobío

La situación de la cuenca del río Biobío muestra como principal usuario actual y futuro al sector hidroeléctrico, pues incorpora en su proyección las estimaciones realizadas la presencia del complejo hidroeléctrico Ralco y Pangue de Endesa. Aunque en menor escala, son usuarios altamente demandantes de agua la agricultura y el sector industrial; se proyecta que aumente la demanda en este último sector en más de 50 m<sup>3</sup>/s, ya que esta Región es un polo industrial en Chile, lo que se une a un constante crecimiento de este sector principalmente en el área de manufactura, forestal y pesquero. En el sector forestal, aunque en menor escala, se espera un aumento de la demanda de agua asociado a un incremento en la superficie de explotación forestal, pues esta zona mantiene un alto porcentaje de las plantaciones forestales del país, alrededor del 40%.

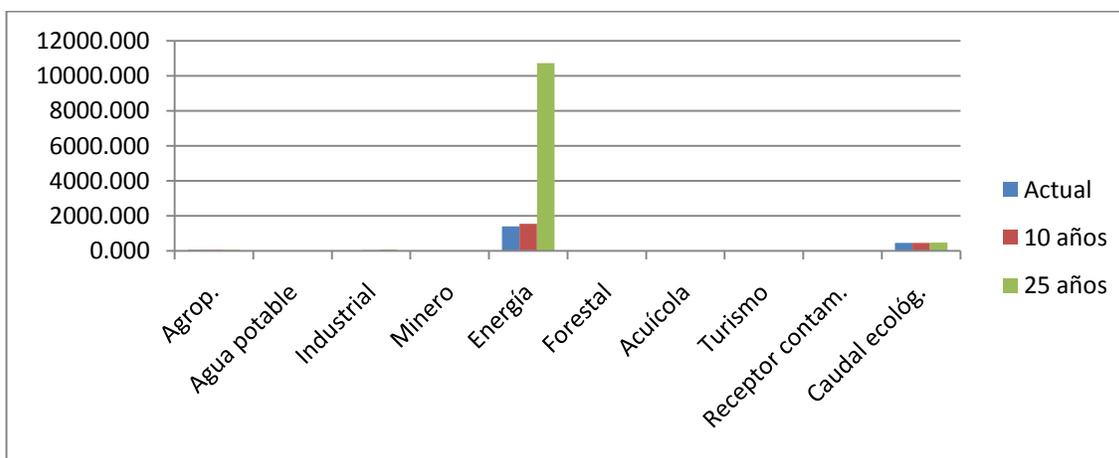
La demanda agrícola en esta cuenca se proyecta constante, lo que podría explicarse por la estimación de un crecimiento nulo de este sector en superficie, sin embargo no considera un posible aumento en la eficiencia del uso del agua que pudiese transformarse en una reducción de la demanda de este sector o un aumento de la superficie usando los volúmenes de agua demandados actualmente.

**Tabla 46: Demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Biobío por uso**

Proyección	Agrop.	Agua potable	Industrial	Minero	Energía	Forestal	Acuícola	Turismo	Receptor contam.	Caudal ecológ.
Actual	52,837	1,940	26,530	0,800	1409,143	0,792	2,800	0,001	3,682	454,400
10 años	52,838	2,095	41,677	0,800	1546,643	1,319	1,288	0,001	3,682	454,400
25 años	52,838	2,268	82,057	0,800	10724,643	1,319	1,790	0,002	3,682	466,600

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b)

**Gráfico 12: Representación gráfica de la demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Biobío por uso**



Fuente: Elaboración propia en base a Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b)



### 14.3.8 Cuenca del Río Baker

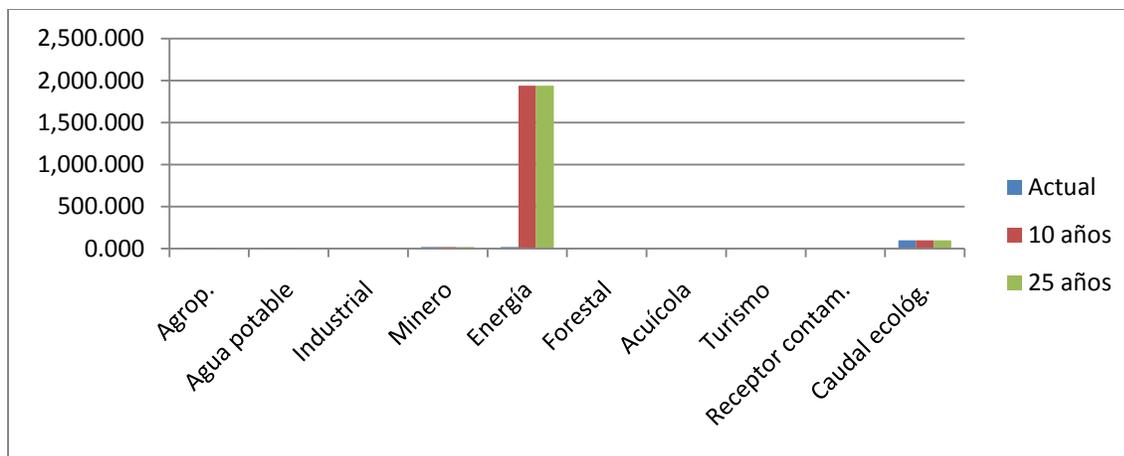
El río Baker en la actualidad presenta como usos principales de agua al minero y al hidroeléctrico, sin embargo de concretarse los proyectos hidroeléctricos de Hidro-Aysén con dos centrales en esta cuenca, las proyecciones muestran un fuerte aumento en la demanda de agua por parte de este sector. En esta cuenca, como se observa en la Tabla 47 y el Gráfico 13, los demás usos del agua en términos de caudal resultan muy menores y tendientes a mantenerse constante en el tiempo proyectado.

**Tabla 47: Demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Baker por uso**

Proyección	Agrop.	Agua potable	Industrial	Minero	Energía	Forestal	Acuícola	Turismo	Receptor contam.	Caudal ecológ.
Actual	0,311	0,026	0,000	19,915	18,005	0,000	0,000	0,000	0,000	97,510
10 años	0,311	0,026	0,000	19,960	1.939,005	0,000	0,000	0,000	0,000	97,510
25 años	0,311	0,028	0,000	19,981	1.939,005	0,000	0,000	0,001	0,000	97,510

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b)

**Gráfico 13: Representación gráfica de la demanda actual y futura de agua (m<sup>3</sup>/s) en la cuenca del río Baker por uso**



Fuente: Elaboración propia en base a Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b)

## 14.4 Conclusiones

A partir de las estimaciones de demanda actual de agua por parte de los diferentes usuarios se puede identificar cual es la vocación hídrica de cada una de las cuencas en estudio, es decir, cual es el principal uso dado a las aguas en la actualidad. En este marco se podría señalar que en las cuencas de la zona centro norte, con excepción del río Loa, la agricultura es el gran demandante de agua, mientras que en las cuencas del centro y sur del país la generación de energía aparece como el principal usuario.

La metodología utilizada para las proyecciones de la demanda no considera esta situación de competencia entre usos, por lo cual no refleja las restricciones propias de una disponibilidad física de agua característica de cada cuenca.



En general las proyecciones de demanda de agua resultan crecientes en todas las cuencas y en todos los sectores, aunque de manera particular algunos casos tienen tendencia a decrecer o a mantenerse.

En particular el sector industrial y minero, en aquellas cuencas donde se encuentran presentes, muestran tendencias crecientes en su demanda. Esto podría implicar situaciones futuras altamente competitivas entre usos debido a que, precisamente, estos sectores productivos se ubican especialmente en cuencas en que la situación de escasez es actualmente una situación conflictiva (ríos Loa, Copiapó, Limarí y Maipo).

Sobre el uso agropecuario, las proyecciones en general muestran una tendencia a mantenerse en los valores actuales de demanda o con leves variaciones respecto de la demanda actual, y aunque estas proyecciones no consideren el efecto de la mejora en la eficiencia del riego, sería esperable que la demanda no decrezca si no que más bien sería esperable un aumento de la superficie regada, una reducción de las pérdidas por infiltración y probablemente una menor recarga del sistema hídrico a nivel de cuenca, hecho que podría agudizar la condición de escasez actual en las cuencas del río Maule al norte.

El uso hidroeléctrico que se presenta desde la cuenca del río Limarí al sur, en general es un sector creciente, incluso en cuencas donde sus proyecciones no muestran un aumento de la demanda de agua, como es el caso de la cuenca del río Maipo, y que si bien se señala como un sector no competitivo con los otros usos (por tener asociados derechos de tipo no consuntivos), los antecedentes de conflictos previos podrían hacer suponer una creciente situación competitiva con otros usos, al menos en la temporalidad de usos de las aguas.

La situación actual de agotamiento legal y físico de las aguas que se presentan en Chile desde la cuenca del río Maule al norte, y que implican competencia entre sectores usuarios de aguas, de acuerdo a las proyecciones generales en la demanda, debieran ir generando una situación más crítica en términos del agotamiento del agua en los cauces y mayores grados de conflictos entre los usuarios demandantes de agua.



## **15 DESCRIPCIÓN DE TIPOS DE PROBLEMAS AMBIENTALES POR CUENCA SEGÚN CALIDAD DEL AGUA Y FUENTES DE CONTAMINACIÓN**

### **15.1 Introducción**

La contaminación y el agotamiento del agua en Chile se ha transformado en un tema de interés nacional, ya que al disminuir la calidad y disponibilidad de los recursos hídricos en un territorio, las actividades humanas que necesitan de este recurso para desarrollarse se ven menoscabadas, lo que muchas veces genera conflicto entre usuarios, por la necesidad de acceder a más agua y de mejor calidad.

Los problemas ambientales siempre están relacionados con el ser humano, ya sea porque es él quien los provoca, quien se ve perjudicado, o ambos. El entendimiento de estos problemas, desde sus orígenes básicos y en todos sus niveles, permite su resolución y la prevención para otros casos potenciales. Así, en el marco del presente estudio, resulta conveniente analizar la dimensión ambiental de las cuencas pilotos, para obtener una panorámica general de la situación en las cuencas de Chile.

Para la elaboración del estado ambiental de cada cuenca se analizó desde el punto de vista de dos factores determinantes: el agotamiento de las aguas y la contaminación del recurso hídrico. El agotamiento fue descrito y analizado desde la perspectiva legal y física en el capítulo 10: Disponibilidad del agua en cuencas piloto de este documento. Así, en el presente capítulo se define el estado ambiental de cada cuenca en función de la contaminación hídrica la cual se describe a partir de fuentes de información secundaria y de información primaria obtenida a través de entrevistas. En cada cuenca, en función de la disponibilidad de información se realizó una revisión del estado de la biodiversidad, humedales y estuarios.

### **15.2 Cuenca del río Lluta**

#### **15.2.1 Contaminación hídrica**

Los ríos del norte grande de Chile son reconocidos como cursos de agua con altas concentraciones de elementos tóxicos para los seres humanos y la biodiversidad, como boro y arsénico, así como altas concentraciones de sales. Los cauces de la cuenca del río Lluta tienen particular presencia de estas sustancias (y otras más), por condiciones naturales del territorio, limitando drásticamente las actividades cotidianas y productivas de la zona, de ahí que los principales problemas ambientales de la cuenca estén relacionados con este hecho, y no con la disponibilidad de agua como es el caso de las cuencas en esta zona del país.

De acuerdo a antecedentes entregados por JICA/MOP (1995, citado por SILOB Chile 2005), el agua del río Lluta es contaminada por los tributarios, fundamentalmente los ríos Azufre y Colpitas. Los principales elementos que afectan la calidad del agua, excediendo los límites permisibles para agua potables, son: As, B, Fe, Cl, y SO<sub>4</sub>, en tanto no existen antecedentes sobre la composición físico-química del río Lluta (SILOB Chile 2005). Además, la conductividad es alta en todo el río, lo que indicaría importantes concentraciones de iones en solución (Brand sin año, citado por SILOB Chile 2005).

También es posible asignar cierta responsabilidad de la contaminación hídrica de la cuenca a la Mina de Azufre Aguas Calientes, que se instaló a fines del siglo XIX, y que extraía el mineral desde el volcán Tacora. El azufre se habría extraído directamente del cráter, para luego ser acopiadas en las faldas del volcán, donde afloraban los recursos hídricos, lo que generó lo que se hoy conoce como drenaje ácido, acentuando así las condiciones ya existentes de contaminación natural, lo que sumado a los bajos niveles de tecnificación de la época, terminaron por ser significativos para el futuro de la cuenca, influyendo sobre los niveles de salinidad y pH de las aguas<sup>45</sup>.

En la Tabla 48 se resumen las sustancias contaminantes más importantes encontradas en las aguas superficiales de la cuenca y sus fuentes de contaminación.

**Tabla 48: Contaminantes relevantes encontrados en las aguas superficiales de la cuenca del río Lluta**

Contaminante	Fuente contaminante	Valor máximo	Estación - Temporada	Norma*
Boro	Depósitos de evaporitas de boratos existentes en los salares altioplánicos y en el suelo, donde los boratos forman parte de la costra salina de estos.	27 mg/L	Río Lluta en Panamericana - otoño	0,75 mg/l
pH	Existencia de sulfuros, asociados a la actividad volcánica del Tacora y acentuados por la actividad de la Minera de Azufre Aguas Calientes.	3,4 - 8,1	Río Lluta en Panamericana - primavera / Río Colpitas antes Caracarani - invierno	6,0 - 9,0
Aluminio	Las escorrentías de sedimentos compuestos principalmente de aluminio silicatos (arcillas) y el pH (4,5 a 10,1), los cuales forman naturalmente complejos de aluminio en solución y cantidad de arcillas ricas en aluminio silicatos que se encuentran como depósitos constitutivos de los suelos	27,6 mg/l	Caracarani - otoño	5,00 mg/l
Hierro (Fe)	Formaciones rocosas de la cordillera de los Andes	15 mg/l	Caracarani - verano	5,00 mg/l
Sulfatos	Influencia del volcán Tacora y Minera de Azufre Aguas Calientes.	1276 mg/l	Río Lluta en Panamericana - primavera	250,00 mg/l
Cloruros	Depósitos de sal (salares) proveniente de evaporitas, las cuales aportan una cantidad alta de iones a los cursos de agua del Caracarani y Colpitas. Elevada evaporación por alta radiación y baja nubosidad. Depósitos de nitratos y cloruros denominados "caliches".	1046 mg/l	Río Lluta en Panamericana - otoño	200,00 mg/l

\* NCh 1.333.Of78: "Requisitos de calidad del agua para diferentes usos".

Fuente: Elaboración propia, a partir de la información entregada por CADE-IDEPE (2004a).

La gran preocupación de la población de la cuenca radica en contar con recursos para el riego y así sustentar la agricultura. Esta tendencia se evidencia en la encuesta realizada por la DGA en 2008, donde se evaluaron las principales preocupaciones de la población respecto de la contaminación de los recursos hídricos de la cuenca, como se muestra en la Tabla 49:

<sup>45</sup> Comunicación personal con Luís Rojas, División de Proyectos DGA, viernes 5 de junio de 2009; Waldo Contreras Director Regional de aguas Arca y Parinacota, 8 de junio del 2009 y Michael Humire Presidente Junta de Vigilancia río Lluta, 8 de junio del 2009.



**Tabla 49: Resumen de las preocupaciones de la comunidad del valle del Lluta.**

Curso de agua o lugar de interés	Aspecto específico	Observaciones
Río Lluta	Presencia de contaminantes: Boro, Arsénico, Azufre, Magnesio, "Millo", minerales, efectos de Planta Quiborax	La principal preocupación es la presencia de Boro que impide un normal funcionamiento de la agricultura. Se menciona el "millo" que se identificó como sulfato de aluminio, que se encuentra presente en algunas zonas de la cuenca.
Desembocadura río Lluta	Agua de descarte planta desalinizadora Propuesta del humedal de la desembocadura como santuario de la naturaleza	Se presenció en dos oportunidades una descarga no autorizada de los RILES de la planta desalinizadora al río Lluta. La descarga oficial se ubica en la desembocadura del río, y se caracteriza por su alta conductividad (14 mS/cm). Existe preocupación en la zona por el posible impacto de contaminantes en el humedal.
Otros afluentes al río Lluta	Aguas servidas de Putre	A pesar de que estas aguas finalmente desembocan en el río Lluta sin tratamiento previo, las concentraciones de materia orgánica medida son bajas y existe una dilución tal que permite que aguas abajo el impacto sea prácticamente nulo.

Fuente: DICTUC y DGA (2008).

El mismo estudio desarrollado el 2008 por la DGA, que evalúa alternativas de mitigación para la contaminación de la cuenca, hace las siguientes sugerencias para lograr disminuir la contaminación de los recursos hídricos en el Lluta, basándose en sus condiciones naturales:

- "Proponer un plan de acción para la gestión de los drenajes ácidos provenientes del sector de la azufrera Tacora. Se debería realizar una prospección geoquímica con el fin de discriminar con mayor detalle entre los aportes naturales y aquellos provenientes del pasivo ambiental. Esto debería dar lugar a medidas de manejo adecuadas para cada fuente, y eventualmente a realizar pruebas piloto orientadas a verificar la efectividad de las medidas.
- Generar información para la gestión adecuada de las obras de desvío del río Azufre: actualmente existe una obra civil importante que se considera ha producido efectos positivos sobre la calidad del agua para regadío en el valle del Lluta. Sería beneficioso para la Junta de Vigilancia contar con directrices para una mejor operación de la obra y eventualmente para proponer inversiones orientadas a mejorarlas. Se requiere mayor información de la hidrología del río Azufre y de cómo distintos caudales del río Azufre generan distintas calidades de agua, aguas abajo de su junta con el Caracarani.
- Mejorar la información agronómica respecto a los efectos del boro versus los otros componentes de la matriz acuosa, y los manejos agronómicos más adecuados para este tipo de condiciones. Todavía existe discusión sobre cuáles serían los factores que limitarían el tipo y rendimiento de los cultivos. Aunque existen indicaciones que el boro jugaría un papel importante, también es posible que factores como la



disponibilidad de iones esenciales, presencia de metales, y la alta salinidad jueguen también un rol relevante. Tener mayor información al respecto no sólo sería un antecedente valioso para un mejor manejo agronómico, sino que también entregaría antecedentes para una mejor gestión de las obras aguas arriba (e.g., bocatoma Azufre y obras de evaporación/infiltración).

- Realizar un análisis hidrológico más acabado de los escurrimientos para los cuales se tiene poca información y potenciar la red de medición hidrométrica y química. La información entregada por las estaciones actuales de la DGA es limitada. Se requiere conocer más sobre la hidrología de las quebradas con aguas de buena calidad, así como la hidrología del Azufre. Asimismo, es necesario mejorar la confiabilidad de la información de la sonda química en la estación Lluta en Alcérreca. Al respecto ayudaría una mayor frecuencia de chequeo del estado de la sonda y recalibración.”

Por último, en la cuenca del río Lluta además se identifican cuatro fuentes de contaminación de origen antrópico:

- El área regada del valle (4.300 ha a la fecha) que, a través de derrames y escurrimiento, contaminan las aguas superficiales con agroquímicos. No se tienen mayores antecedentes cuantitativos u otros respecto a esta contaminación difusa (Orrego 2002).
- La planta Procesadora de metales Promel-Pukará, que utiliza el proceso de cianurización para tratar los metales, entre otros. No se tienen antecedentes de los procesos que evitan esta contaminación en los lugares de descarga. De acuerdo al Inventario, se está afectando el área de riego, la que tendría mayores restricciones por la contaminación natural de las aguas que por las fuentes nombradas (Orrego 2002).
- Las descargas contaminantes de la Planta desalinizadora de aguas de ESSAT S.A. (CADE-IDEPE 2004a), que en ocasiones no se realiza en la desembocadura como debiese, haciéndose directamente en el río Lluta aumentando su salinidad.

### 15.2.2 Estado de Biodiversidad y Humedales

El nivel de elementos químicos de esta cuenca en conjunto con la irregularidad en la disponibilidad del agua, influye en la casi total ausencia de flora acuática en ella (CADE-IDEPE 2004a); sólo ha sido posible pesquisar la presencia del camarón de río del norte (*Criphiops caementarius*) y pejerreyes (*Basilichthys semotilus*) costeros en la desembocadura (GEF 2002).

El ecosistema presente en el Estuario del Río Lluta, corresponde al más importante (de los cuatro humedales costeros de la Región) desde el punto de vista de la biodiversidad, ya que es la primera zona de descanso para las aves migratorias que viene de más al norte. La diversidad presente en esta zona, constituye un hábitat fundamental para las aves acuáticas principalmente, tanto residentes como migratorias. Comprende una superficie de 171 Ha y está identificado como sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad en la Región de Tarapacá (CADE-IDEPE 2004a). En esta sección se encuentran con problemas especies endémicas de reptiles, aves y mamíferos (GEF 2002). También es importante para la conservación de estas especies todo el sector superior norte de la cuenca del Río Lluta, bajo el Río Azufre, puesto que existe una zona de humedales particularmente apta como hábitat para ellas (GEF 2002).



Todas estas características han generado preocupación en la municipalidad de Arica hacia el estuario, solicitando parte de los terrenos que comprenden la desembocadura para crear un Parque Natural Municipal, intentando proteger el área de la activa intromisión de residentes y turistas en los ciclos de postura e incubación de nuevas generaciones de aves (Ortega *et al.* 2007), sin embargo en las entrevistas realizadas el estuario no aparece como un tema relevante dentro de los problemas ambientales de la cuenca.

## 15.3 Cuenca del río Loa

### 15.3.1 Contaminación hídrica

No ha habido mayor contaminación en la cuenca. No hay emisiones de RILES en el Loa ni afluentes. "Hay efectos secundarios difusos como las emisiones de gases de las mineras, que luego precipitan y de alguna manera llegan a los cauces de agua, y debido a esto, podría haber sulfatos, sulfuros, cobre, pero habría que analizarlo. No se puede hablar de ningún contaminante"<sup>46</sup>.

No se observan contaminantes provenientes de fuentes antrópicas producto del manejo de empresas. El Loa, dadas sus condiciones naturales, y especialmente debido a las características de la franja F-8, genera agua de mala calidad<sup>47</sup>.

En relación al estado de los elementos de importancia en la zona (ver Tabla 50), se presenta el siguiente detalle (CADE-IDEPE 2004b):

**Tabla 50: Contaminantes relevantes en la cuencas del río Loa**

Elemento	Valor máximo	Tramo	Norma
Boro	90 mg/l	Est. Loa en Sloman	0,75 mg/L
Aluminio	2,74 mg/l	Loa en Conchi-verano	5,0 mg/L
Sólidos disueltos	6.290 mg/l	Río San Salvador en Coya Sur	2000 - 5000 mg/L

Fuente: Elaboración propia, a partir de CADE-IDEPE (2004b).

Norma: Norma Chilena Oficial NCh 1333. Of 78. de agua para riego.

Los principales contaminantes se presentarían porque:

- Boro: debido a factores naturales como depósitos de bórax y ácido bórico existente en salares y en rocas sedimentarias; y antropogénicos como drenajes difusos de los materiales de acopio de estériles de yacimientos de bórax en los alrededores del Salado.
- Aluminio: debido a dos factores combinados: las escorrentías de sedimentos compuestos (aluminico silicatos) y el ph medio (4,5 a 10,1), los cuales forman naturalmente aluminio en solución.
- Conductividad eléctrica: debido a la disolución y lixiviación de la gran cantidad de sales minerales presentes en el suelo, la litología y el volcanismo. La alta

<sup>46</sup> Comunicación personal con Sr. Marco Soto, ex Director Regional de Aguas, Región de Antofagasta, período 2001-2008, realizada el 11 de mayo de 2009.

<sup>47</sup> Comunicación personal con Sr. Claudio Lam Director Regional de Aguas, Región de Antofagasta, realizada el 20 de mayo 2009, vía telefónica.



radiación solar, el cambio a fase vapor del agua (debido a altiplano y montaña), el aporte de sales del río Salado, el paso por el salar de Rudolph, los caliches del desierto y la formación geológica de Calama, son factores determinantes de este parámetro.

- Sólidos disueltos: factores de formación similares a conductividad eléctrica.

### **15.3.2 Estado de Biodiversidad, Humedales y Estuarios**

Quillagua ha tenido muy poca agua y ha estado vulnerable, provocando daños en la biodiversidad presente en la zona. También se han observado problemas de sedimentos y cambios conformacionales en tranque Sloman y Santa Fé. Esto se debe a dos factores: uso intensivo del recurso y el cambio en el uso del agua. En el año 2001 se presentaron dos de las más grandes crecidas del río, llegando a 200 m<sup>3</sup>/s en Calama, siendo que el año normal corresponde a 2 m<sup>3</sup>/s. Esto provocó que en muchos casos se generaran cambios en las condiciones hidráulicas del río arrastrando sedimentos, animales, malezas, y otros elementos. Esto provocó que en algunas zonas del río aumentaran las pérdidas naturales. Por lo tanto, las crecidas correspondientes a ese año provocaron una desviación natural del recurso, aumentando las pérdidas naturales y perjudicando a los usuarios aguas abajo que no pueden ejercer la totalidad de sus derechos. Esto a su vez afectó a ciertas especies ubicadas principalmente en Quillagua<sup>33</sup>.

## **15.4 Cuenca del río Copiapó**

### **15.4.1 Contaminación hídrica**

En la cuenca del Copiapó fueron medidos diversos parámetros de calidad en el río Copiapó y sus tres afluentes principales, los ríos Manflas, Pulido y Jorquera y comparados con el objetivo de calidad esperada para cada uno. En la Tabla 51 se muestran los ríos con el índice ICAS, la clase actual más característica de calidad, la clase objetivo para el cuerpo de agua, y el detalle de aquellos parámetros que se encuentran dentro de la clase objetivo y aquellos que exceden la clase objetivo.

Para entender la siguiente tabla, es importante mencionar que El ICAS es el Índice de Calidad de Agua Superficial, que va de los valores 0 a 100, donde cero indica agua de muy mala calidad, y 100, agua de muy buena calidad. Para clasificar el cuerpo de agua en clases, el estudio utilizó el Instructivo Presidencial para el establecimiento de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas, que establece cinco clases de calidad que van desde la Clase 0 o 'Excepcional' hasta la Clase 4, de 'Mala calidad' (Golder Associates 2006).



**Tabla 51: Calidad de aguas superficiales**

Cauce	Tramo	ICAS	Estación de Muestreo	Clase actual más característica	Clase objetivo del tramo	Excepciones en el tramo	
						Clase Excepción	Parámetros que difieren en la clase objetivo
Río Manflas	De nacimiento río Manflas hasta confluencia río Copiapó	97	Río Manflas en vertedero	0	0	1	
						2	CE, Cu, Cr, Fe, Mn
						3	Al
						4	B
Río Pulido	De nacimiento río Pulido hasta confluencia río Jonquera	94	Río Pulido en vertedero	2, Buena	2, Buena	0	OD, pH, Cl, Zn, As, Ni, Se, DBO <sub>5</sub> , SST, otros
						1	CE, SD
						3	Al
						4	B, Hg
Río Jorquera	De nacimiento río Figueroa hasta confluencia río Pulido	89	Río Jorquera en vertedero	2, Buena	2, Buena	0	OD, pH, RAS, Cl, Zn, DBO <sub>5</sub> , SST otros
						1	
						3	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>
						4	B, Fe, Mn, Al, As, Hg
Río Copiapó	De confluencia río Jorquera y río Pulido hasta límite subcuenca	93	Río Copiapó by-pass Lautaro	2, Buena	2, Buena	0	pH, Cl, Ni, Se, DBO <sub>5</sub> , SST, otros
		89	Río Copiapó en La Puerta			1	As
		90	Río Copiapó en Mal Paso			3	
	Límite subcuenca hasta desembocadura	82	Río Copiapó en Puente Bodega	4, Mala	3, Regular	0	pH, Cl, Ni, Se, DBO <sub>5</sub> , CN <sup>-</sup> , otros
		75	Río Copiapó en Piedra Colgada			1	OD, color aparente
		77	Río Copiapó en Angostura			2	Cr, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Mo, Zn
						4	CE, Cl, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , B, Fe, Mn, Al, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , SD

Fuente: DGA (2004) citado por Golder Associates (2006).

De la Tabla 51 se concluye que el afluente de mejor calidad es el Manflas, y el de peor calidad, el Jorquera. La regulación que el embalse Lautaro ejerce sobre el río Copiapó influye sobre parámetros como el oxígeno disuelto y la carga de sólidos.

Se asocia a la actividad minera con la reducción de la calidad del agua en la parte media y baja de la cuenca. "La parte media de la cuenca posee actividad minera importante, la que sumada a las lixiviaciones naturales de las franjas metalogénicas propias del área favorecen la presencia de metales como el boro, cobre, hierro y cromo". Aguas debajo de la ciudad de Copiapó, el río tiene los niveles de calidad más bajos de toda la cuenca. Los parámetros hacen catalogar dicha sección en la clase 4 (CADE-IDEPE 2004c).

Los contaminantes más relevantes de la cuenca para áreas superficiales, son: aluminio, boro, mercurio, fierro y manganeso, debido a la frecuencia con que sus concentraciones están en las peores clases de calidad en la cuenca.

En cuanto a las aguas subterráneas, Golder Associates (2006) realizó una comparación entre el registro del estudio realizado por SERNAGEOMIN en 1999 (Estudio hidrogeológico del río Copiapó, segmento Embalse Lautaro-Piedra Colgada) y los valores de la norma chilena de agua para consumo humano (NCh 409) y para riego (NCh 1333) (SERNAGEOMIN 1999, citado por Golder Associates 2006). A continuación, la Tabla 52 señala los parámetros que superaron las normas antes mencionadas, en el año en que fueron medidas por tramo de la cuenca.

**Tabla 52: Calidad de aguas subterráneas**

Tramo	Parámetros que superan la norma
Río Manflas	(año 1997) Pb
Río Pulido	(año 1997) SO <sub>4</sub>
Río Jorquera	(año 1997) Fe, SO <sub>4</sub> , B, TSD
Río Copiapó Tramo Lautaro – La Puerta	(año 1995) SO <sub>4</sub> , B, TSD
	(año 1996) Mg, Fe
	(año 1997) Mg, B
Río Copiapó Tramo La Puerta – Mal Paso	(año 1995) Mg, B, TSD, Fe, Mn, SO <sub>4</sub>
	(año 1996) SO <sub>4</sub> , B
	(año 1997) SO <sub>4</sub> , B, TSD
Río Copiapó Tramo Mal Paso – Ciudad de Copiapó	(año 1995) Fe, SO <sub>4</sub> , B, TSD
	(año 1996) SO <sub>4</sub> , B, TSD
	(año 1997) SO <sub>4</sub> , B, TSD, Cl, Mg, Na, F, Fe
Río Copiapó Tramo Ciudad de Copiapó – Piedra Colgada	(año 1995) Mg, Na, Fe, Mn, SO <sub>4</sub> , B, TSD, Cl
	(año 1996) SO <sub>4</sub> , B, TSD
	(año 1997) SO <sub>4</sub> , B, TSD
Río Copiapó Tramo Piedra Colgada – Angostura	(año 1997) Mg, Na, SO <sub>4</sub> , Cl, B, TSD

Fuente: Golder Associates (2006).

De acuerdo con los inventarios de contaminación (realizados por DGA en 1989 y 1991) y los informes de gestión (realizados por la SISS en 2001 y 2002), se contabilizaron 83 fuentes de contaminación en la cuenca del Copiapó, destacando "descargas de aguas servidas con algún nivel de tratamiento de los alcantarillados de Copiapó (117.255 habitantes), Tierra Amarilla y Los Loros. Según la SISS, actualmente las descargas de aguas servidas de Copiapó alcanzan a 197 L/s y las de Tierra Amarilla, a 11,7 L/s. Ambas son tratadas en lagunas aireadas, para luego ser vertidas al río Copiapó con una carga orgánica DBO<sub>5</sub> de 386 ton/año" (Golder Associates 2006).



El riego agrícola contamina las aguas con el derrame y escurrimiento de diversos productos químicos usados en la agricultura. El alcantarillado de Copiapó recibe descargas de varias industrias ubicadas dentro de la ciudad, las que son tratadas en las lagunas de estabilización de la ciudad del mismo nombre.

Las descargas de las plantas mineras son realizadas a plantas de relave donde se produce evaporación e infiltración; las descargas no debieran alcanzar ningún acuífero. "Los afectados serían los sistemas de agua potable de Tierra Amarilla, Copiapó, y las captaciones subterráneas para abastecer las localidades de Caldera y Chañaral y el área de riego del río Copiapó. El área de riego entre Copiapó y Piedra Colgada es afectado por las descargas de las lagunas de estabilización del alcantarillado de Copiapó, con un caudal de 200 L/s (a la fecha del inventario) afectando significativamente las aguas para riego con la contaminación bacteriológica. El inventario concluye que la Fundación de Paipote no contamina las aguas" (Golder Associates 2006).

#### 15.4.2 Estado de Biodiversidad, Humedales y Estuarios

En las provincias de Copiapó y de Tierra Amarilla se encuentra el Parque Nacional Nevado Tres Cruces, de 59.081 ha divididas en dos sectores. El primero "comprender el extremo sur del salar de Maricunga, la Laguna Santa Rosa y el curso del río Lamas", mientras que el segundo sector "comprende la laguna del Negro Francisco y la desembocadura del río Astaburuaga" (CONAF 2003). Ambas lagunas están inscritas dentro de la lista de humedales de importancia internacional Ramsar desde diciembre de 1996 (Convención Ramsar 2008) por la importancia que tienen para la conservación de aves. Aún cuando no están por completo ubicadas dentro de la cuenca del río Copiapó, se conecta con los acuíferos de ésta y por ello es relevante para la salud de las aguas subterráneas de la misma (DGA 2005b).

### 15.5 Cuenca del río Limarí

#### 15.5.1 Contaminación Hídrica

Para el análisis de calidad del agua de la cuenca del río Limarí al igual que en el caso de la cuenca del río Copiapó, se compara el valor de los diferentes elementos contaminantes con la clase 0 del índice ICAS.

Aquellos parámetros que exceden la clase 0 en esta cuenca, para los cuatro períodos estacionales, durante los cuales se realizó el muestro y recolección de información se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 53: Parámetros que exceden Clase 0 en la cuenca del río Limarí**

Parámetro	Tipo de Parámetro
Conductividad Eléctrica	Obligatorio
Oxígeno Disuelto	Obligatorio
RAS	Principal
Cloruro	Principal
Sulfato	Principal
Boro	Principal



Cobre	Principal
Hierro	Principal
Aluminio	Principal

Fuente: CADE-IDEPE (2004d).

La consultora CADE-IDEPE realiza una recopilación de información tanto bibliográfica como en terreno, a través de muestreos, que permiten la construcción de una tabla en la cual es posible ver los valores estacionales máximos de los parámetros en la cuenca del río Limarí que nos da luces sobre los sectores que presentan problemas en relación a la concentración de los diferentes elementos.

**Tabla 54: Valores estacionales máximos de los parámetros en la cuenca del río Limarí**

Estación	CE μS/cm	RAS	Cl <sup>-</sup> mg/L	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/L	B mg/L	Cu μg/L	Fe mg/L	Al mg/L
Río grande en las Ramadas	Clase 0	3,4	Clase 0	Clase 0	0,67	16	0,94	1,62
Río Grande en puntilla de San Juan	Clase 0	3,4	Clase 0	Clase 0	0,74	32	1,59	2,19
Río Mostazal en Huestecilla	Clase 0	Clase 0	Clase 0	Clase 0	0,6	32	Clase 0	0,86
Río Rapel en Palomo	Clase 0	Clase 0	Clase 0	Clase 0	0,054	19	Clase 0	0,61
Río Hurtado en San Agustín	Clase 0	Clase 0	Clase 0	Clase 0	0,71	56	Clase 0	1,25
Río Hurtado en Angostura de Pangué	Clase 0	3,6	Clase 0	Clase 0	0,64	0,19	Clase 0	0,46
Río Limarí en Peñones bajos	607,2	7,1	Clase 0	Clase 0	1	30	Clase 0	0,26
Río Limarí en Panamericana	2190,1	21	457,5	218	0,72	28	Clase 0	1,66
Río Combarbalá en Ramadillas	Clase 0	Clase 0	Clase 0	Clase 0	0,43	24	Clase 0	1,09
Río Cogotí en Fragueta	Clase 0	2,6	Clase 0	Clase 0	0,51	20	Clase 0	0,9
Río Cogotí antes Embalse	Clase 0	3	Clase 0	Clase 0	0,88	21	Clase 0	0,96
Río Guatulame en el Tome	Clase 0	4	Clase 0	Clase 0	0,78	40	Clase 0	1,77
Estero Punitaqui en Punitaqui	788	9,4	Clase 0	Clase 0	1	30	Clase 0	0,43

Fuente: CADE-IDEPE (2004d).

De la inspección de la Tabla 54, se infiere:

- El río con la mejor calidad natural es el Combarbalá.
- Los ríos con buena calidad son: Mostazal, Rapel, Hurtado, Cogotí y Guatulame.
- Los ríos Punitaqui y Limarí en Panamericana son los que presentan la calidad más desmedrada.
- Los metales en solución son gravitantes en la calidad del agua.
- El boro, cobre, selenio y aluminio están presentes en toda la cuenca.
- El manganeso es un elemento abundante en la cuenca del Limarí.
- Los cauces del río Grande, Hurtado, Cogotí, Guatulame, Limarí y estero



Punitaqui presentan alto contenido de iones calcio, magnesio y sodio, lo que indica alta concentración de sales en un amplio territorio de la cuenca (CADE-IDEPE 2004d).

Resumiendo los datos obtenidos del documento, se confeccionó la Tabla 55 en la cual apreciamos los elementos contaminantes más importantes junto con su fuente emisora.

**Tabla 55: Contaminantes relevantes cuenca del río Limarí**

Contaminantes relevantes	Fuente contaminante	Valor máximo	Requisito de la Norma
Boro	Precipitación de boratos entre estratos sedimentarios de la cuenca.	1 mg/l	0,75 mg/L**
Selenio	Asociado a minerales de cobre de origen porfírico de franjas metalogénicas (Natural)	0,03 mg/L	0,01 mg/L*

Fuente: Elaboración propia a partir de CADE-IDEPE (2004d)

\* Norma Chilena Oficial NCh 409 OF 84 (Agua potable)

\*\* Norma Chilena Oficial NCh 1.333 OF 78 (Riego)

En general, la calidad natural del río es clasificada como buena, donde exceden la clase de excepción los metales como el cobre, selenio, boro y aluminio, principalmente por razones naturales, sin embargo, sólo el selenio y boro exceden la norma chilena para uso en agua potable y riego, respectivamente, lo que indica que estas aguas pueden ser usadas para las necesidades económicas y sociales de la cuenca.

Por otro lado, a lo largo de la cuenca existen varias plantas de beneficio minero con depósitos asociados de materiales estériles, los cuales, modifican la calidad natural del agua, especialmente cuando ocurren precipitaciones (CADE-IDEPE 2004d), sin embargo, el cobre no aparece como un contaminante relevante según las mediciones.

La presencia de los embalses la Paloma, Recoleta y Cogotí, influyen en la calidad natural modificando parámetros como el oxígeno disuelto y la carga de sólidos y son receptores de los metales que drenan las cuencas andinas en forma de sedimentos (CADE-IDEPE 2004d).

De acuerdo a lo señalado por los entrevistados, los problemas de calidad de agua se dan de manera esporádica y han estado vinculadas a la industria del pisco que ha vertido sus riles al río, y a casos puntuales en que la planta de tratamiento de agua de Ovalle a presentado desperfectos vertiendo las aguas contaminadas al río. Se señala también que en los cauces artificiales presentan distintos grados de contaminación orgánica asociado al paso de los canales en proximidades a centros poblados que usan las aguas como vía de evacuación de sus residuos.

### 15.5.2 Estado de Biodiversidad, Humedales y Estuarios

La protección y conservación de comunidades acuáticas son abordadas desde el punto de vista del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), de la Estrategia de Biodiversidad y algunos otros sitios de interés que pudieran sobresalir de la



información recopilada (CADE-IDEPE 2004d).

En la cuenca del río Limarí existen dos áreas contempladas por el SNASPE:

- Monumento Natural Pichasca: Es una importante zona arqueológica y paleontológica, donde se destacan los fósiles y restos de vegetales, la cual fue antiguo asiento de la población incaica (CADE-IDEPE 2004d).
- Parque Nacional Bosque Fray Jorge: Presenta un fenómeno natural extraordinario; un bosque, tipo valdiviano, en una zona desértica costera (CADE-IDEPE 2004d).

En cuanto a la "Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad IV Región de Coquimbo", los sitios prioritarios de conservación de biodiversidad son (CADE-IDEPE 2004d):

- El Durazno – El Quillay – Valle Hermoso: Área que destaca por la combinación de ambientes de interfluvio, valles fluviales y media montaña.
- Cuesta El Espino: Zona que destaca por la presencia de Canelo Chequen, especie en peligro de extinción.

En cuanto a la presencia de humedales en la cuenca del río Limarí, de acuerdo a la información gráfica entregada por la DGA en su informe de "Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la Cuenca del Río Limarí" del año 2008 (DGA 2008c) comparada con la información entregada por el informe del Centro de Ecología Aplicada Ltda. de la CONAMA en su informe "Protección y manejo sustentable de Humedales Integrados a la Cuenca Hidrográfica" del año 2006 (CONAMA 2006) se aprecia la ausencia de humedales en la cuenca del río en estudio.

## 15.6 Cuenca del río Maipo

### 15.6.1 Contaminación Hídrica

Los datos y análisis que se presentan a continuación corresponden al informe de CADE-IDEPE (2004e). De acuerdo a lo señalado, los parámetros seleccionados para el análisis de la calidad de agua en la cuenca fueron los siguientes:

**Parámetros Obligatorios:** Conductividad Eléctrica (CE), DBO5, Oxígeno Disuelto (OD), pH, Sólidos Suspendidos, Coliformes Fecales.

**Parámetros Principales:** RAS, Cloruro, Nitrito, Sulfato, Cobre, Cromo total, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Zinc, Aluminio, Arsénico, Plomo, Coliformes totales

**Parámetros considerados por CADE-IDEPE por exceder la clase 0:** Color Aparente, Sólidos Disueltos, Amonio, Cianuro, Estaño (para más información sobre clase 0 ver apartado 15.4.1 Contaminación hídrica de la cuenca del río Copiapó).

De los parámetros señalados sólo se tomarán en cuenta aquellos que cumplan los siguientes criterios:

1. Parámetros que superen la clase de calidad 3.



2. Parámetros que hayan sufrido variaciones adversas en el tiempo o que disminuyan su calidad en el transcurso del recorrido del cauce.

De acuerdo a lo expuesto, los parámetros relevantes identificados son los que se presentan en la Tabla 56.

**Tabla 56: Estado de los parámetros de calidad más relevantes en la cuenca del río Maipo**

Parámetro relevante	Condición o estado			
	Río Maipo		Río Mapocho	
	Condición	Valores tendencia central	Condición	Valores tendencia central
CE	Estable estacionalmente y en el cauce, entre clase 2 y 3	1200 $\mu\text{s/cm}$	Incrementa desde Clase 0 (cabecera) a confluencia con el Maipo (Clase 2)	200-300 $\mu\text{s/cm}$ a 1200 $\mu\text{s/cm}$
OD	Saturación cercana al 100%	9-10 mg/L	Variación de Clase a clase 4 llegando a saturación < 30%	3 a 6 mg/L (Rinconada de Maipú)
Cl	Concentración disminuye desde parte alta (clase 4) a zona baja de la cuenca (clase 2)	100-200 mg/L	Aumenta aguas abajo hasta clase 3	10 mg/L Est. Los almendros a 150 en Rinconada
Fe	En verano alcanza la clase 4. El resto del año en clase 2	10 a 0,08 mg/L	Clase 2 en parte alta, alcanzando clase 4 al confluir con el Maipo	2,4 en Los Almendros a 6 mg/L en Rinconada
Mn	Clase 4 en verano y resto del año clase 2	Parte alta: 0,6 a 0,2 mg/L Parte media: 1,8 a 0,3 mg/L Parte baja: 0,1 a 0,4 mg/L	Clase 4 en verano y resto del año clase 2	Similar a Río Maipo con diferencias de 2,5 veces cabecera – parte baja
Al	Clase 4 a lo largo del río decreciendo aguas abajo. En verano aumenta	Parte alta: 5 a 10 mg/L Parte baja: rangos de 2 a 12 mg/L	Clase 4 a lo largo del río decreciendo aguas abajo. En verano aumenta	6 – 4 mg/L Valor máximo de 10 mg/L en Rinconada

Fuente: Elaboración propia en base a CADE-IDEPE (2004e).

### 15.6.1.1 Factores incidentes

Se presenta a continuación una reseña de los factores que estarían explicando en parte, los valores que se muestran en la tabla anterior.

#### Conductividad eléctrica (CE)

Cuenca del Río Maipo: Presenta valores muy altos desde su nacimiento debido a que en la litología de la zona (rocas sedimentarias que constituyeron el fondo marino, con abundancia de sales).



### **Oxígeno Disuelto (OD):**

Río Mapocho: Esta situación se genera por la descarga de aguas servidas y se incrementa el déficit por efecto de la temperatura.

Río Maipo: Prevalen las condiciones naturales, a pesar de la existencia de algunas descargas y la confluencia con el Mapocho.

### **Cloruros (Cl)**

Río Maipo: Valores muy altos (hasta 277 mg/L en Las Melosas en otoño) desde su nacimiento, por razones litológicas.

Río Mapocho: No existen formaciones capaces de generar esta condición.

### **Hierro (Fe)**

Factores naturales: En la estación DGA Yeso se registran valores de 1,0 mg/L, no obstante, en la estación El Manzano se llega a 18,5 mg/L. Esto se explica porque el factor incidente es esencialmente litológico por lixiviación de minerales pirita.

Factores antrópicos: Los depósitos de material de descarte procedentes de la minería constituyen fuentes potenciales de contaminación de las aguas superficiales, las cuales toman su mayor relevancia cuando ocurren precipitaciones. Por otra parte los drenajes de aguas de minas y el depósito de los materiales de descarte son fuentes de generación de hierro irreversibles debido a que en su mayor parte no cuentan con el diseño de un sistema de disposición que permita la contención o tratamiento de la escorrentía de estos.

El hierro es un metal ampliamente usado en la industria metal mecánica motivo por el cual aparece notoriamente aguas abajo de los centros industriales de la ciudad de Santiago, pero que no pertenecen al contenido base natural de este.

### **Manganeso (Mn)**

Se detectan hasta 16,1 mg/L en la Estación DGA El Manzano. Los factores incidentes son naturales y antrópicos.

Factores antrópicos: Actividades mineras desarrolladas en la subcuenca del río Maipo.

Factores naturales: Lixiviación de las rocas sedimento-volcánicas de la alta cordillera. El comportamiento a lo largo del curso se explica por el afloramiento de napas subterráneas en la sección más baja del Maipo, Mapocho y estero Puangue, en las que los acuíferos asociados a las subcuencas recargan los cursos superficiales. El manganeso presente naturalmente en los suelos, (suelos oscuros) y en rocas sedimentarias es lixiviado por las aguas subterráneas hasta que emergen desde el sector de Melipilla en el Maipo y Rinconada de Maipú en el Mapocho. Este fenómeno puede estar también acelerado por la presencia de actividad minera en la alta cordillera.

### **Aluminio (Al)**

El aluminio detectado alcanza valores de hasta 39,1 mg/L (Est. DGA Estero Colina en compuerta Vargas). La aparición del aluminio disuelto en el agua superficial se debe a la interacción de factores naturales y antrópicos. Por una parte existe una gran cantidad de arcillas ricas en aluminio silicatos que se encuentran como depósitos constitutivos de los



suelos, las que, por cambios muy pequeños en las condiciones del suelo pueden llevar a incrementos relativamente grandes de concentración de aluminio en las aguas naturales. Por otra parte, en el sector de Montenegro a 65 km al norte de Santiago, se encuentran yacimientos de bauxita. Estas actividades mineras y los depósitos de materiales de descarte son fuentes de aporte de compuestos de aluminio que drenan hacia el estero Polpaico y el estero Colina cuando ocurren precipitaciones.

Finalmente, el estudio menciona el hecho que sea probable que los sólidos disueltos se encuentren sobrepasando la norma en todos los cursos donde la conductividad eléctrica también es excedida, así como en la parte baja de los ríos Maipo y Mapocho y en los Esteros Puangue y Lampa. No se disponen de datos de monitoreo de sólidos suspendidos totales (SS), pero se sabe que el Maipo es el río con sólidos en suspensión más elevada de las cuencas de Chile (2.448 t/mes). El origen de los SS se debe a las rocas sedimentarias existentes en la parte alta de la cuenca.

### **15.6.1.2 Información obtenida de las entrevistas:**

Según la opinión del Director Regional de la DGA, la cuenca no presenta problemas importantes de contaminación, por lo menos, respecto de los parámetros que DGA monitorea. Se reconocen problemas de contaminación de sectores específicos, pero la apreciación es que estos problemas no tienen una dimensión que comprometa la cuenca. No obstante, el planteamiento de la Asociación Canales del Maipo, es antagónico al señalado. La opinión de este sector, basado en datos que habrían sido levantados hace dos años atrás, es que uno de los mayores problemas que enfrentan como regantes, son los aspectos de contaminación, principalmente por los efluentes que emiten industrias. Se señala, por parte de este sector, que las aguas de regadío no están cumpliendo las normas de calidad, afectando principalmente a sectores exportadores, quienes deben cumplir requerimientos ambientales específicos.

En general, según el estudio de CADE-IDEPE (2004e), en que se elaboró el diagnóstico de la cuenca en términos de calidad de agua, se señala que los aspectos más relevantes están relacionados con la conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y la presencia de contaminantes tales como Al, Fe, Mn y Cloruros. No obstante, esta información no es completamente compartida por los técnicos encargados de la Asociación de Regantes Canal del Maipo, quienes dan cuenta de otros contaminantes y de condiciones mucho más restrictivas en términos de calidad.

## **15.7 Cuenca del río Maule**

### **15.7.1 Contaminación hídrica**

En el estudio de CADE-IDEPE (2004f) se tomaron datos de mediciones realizadas por la DGA en distintos cuerpos de agua de la cuenca del Maule, en distintas épocas, y luego se realizaron mediciones propias para dicho estudio. Sintetizando esta información, y en específico para el río Maule, se determinó que existen parámetros que exceden, al menos una vez, la clase 0 de la cuenca, para las cuatro estaciones del año (ver explicación sobre clases de calidad en apartado 15.4.1 Contaminación hídrica de la cuenca del río Copiapó). Estos son: oxígeno disuelto, hierro, manganeso y aluminio.



Sobre los parámetros destacados en el río Maule, en el caso del oxígeno disuelto (OD), sus más altos valores se presentan en verano, primavera e invierno, con variaciones entre distintos sectores del río. Para el hierro, los mayores valores también se dan en las estaciones de verano, invierno y primavera. Las concentraciones varían mucho entre cada estación de muestreo y entre las diferentes estaciones del año (CADE-IDEPE 2004f).

En la Tabla 57 se resumen los contaminantes más importantes de las aguas superficiales de la cuenca del río Maule (medición más alta de todas las estaciones) y sus fuentes de contaminación:

**Tabla 57: Principales contaminantes químicos en las aguas superficiales del río Maule**

Contaminante	Fuente contaminante	Valor máximo	Estación - Temporada	Norma
Manganeso (Mn)	Litología propia de la cuenca.	0,27 mg/L	Río Cauquenes en desembocadura	0,2 mg/L* 0,1 mg/L**
Molibdeno (Mo)	Litología propia de la cuenca	0,027 mg/L	Río Maule en Armerillo Río Claro-Talca en Talca	0,01 mg/L*
Aluminio (Al)	Ligada a la actividad volcánica.	4,79 mg/L	Río Claro-Talca en Talca	5 mg/L*

Fuente: elaboración propia en base a CADE-IDEPE (2004f).

\* Norma Chilena Oficial NCh 1333. Of 78. de agua para riego.

\*\* Norma Chilena Oficial NCh 409. Of 84. Para agua potable.

De la Tabla 57 se puede indicar que, si bien hay presencia de contaminantes que superan en algún momento, alguna de las normas de calidad de agua, no resulta ser una situación constante ni crítica, por tanto, podría decirse que el río no está contaminado, lo que concuerda con lo señalado por los entrevistados en la cuenca.

En relación a la contaminación biológica, en el río Maule se realizan las siguientes descargas:

- Descargas de tipo domiciliario: un 99% de la población urbana de la cuenca posee servicios de agua potable, y un 95% de cobertura de alcantarillado, proporcionado por la empresa Aguas Nuevo Sur S.A., la cual también provee tratamiento de agua potable para las poblaciones de San Clemente y Longaví. La Tabla 58 muestra los cuerpos que reciben las descargas de la ciudades y pueblos de la ciudad y algunos datos sobre la descarga de aguas servidas:

**Tabla 58: Descarga de aguas servidas en la cuenca del Maule**

Localidad	Cuerpo receptor	Cobertura tratam. de aguas servidas	Nombre planta de tratam.
Talca	Río Claro	0	N/E
Linares	Río Achibueno	0	N/E
Cauquenes	Río Cauquenes	0	N/E
Constitución	Río Maule	0	N/E
Parral	Estero Curipeumo	0	N/E
Molina	Río Claro	0	N/E
Pelarco	Río Lircay	0	N/E
San Clemente	Río Maule	89,6	Laguna Aireada San



Localidad	Cuerpo receptor	Cobertura tratam. de aguas servidas	Nombre planta de tratam.
			Clemente
San Javier de Loncomilla	Río Loncomilla	0	N/E
Villa Alegre	Río Loncomilla	0	N/E
Yerbas Buenas	Río Putagán	0	N/E
Longaví	Río Longaví	63,5	Laguna Aireada Longaví
Retiro	Río Longaví	0	N/E

N/E: No existe planta de tratamiento.

Fuente: CADE-IDEPE (2004f).

El tratamiento de las aguas servidas de las localidades de la Tabla 58 está a cargo de la empresa Aguas Nuevo Sur S.A. Esta empresa informa que las descargas realizadas a los distintos ríos y esteros poseen parámetros de calidad menores a los que dicta el Decreto DS 90 sobre agua potable. Respecto de este tratamiento se reconoce por parte de las autoridades que la contaminación por coliformes fecales aún se mantiene en índices relevantes a pesar del aumento en la construcción de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas, sin embargo, en los ríos, especialmente en el Maule, según representantes de las organizaciones de usuarios de aguas, esta contaminación por coliformes no sería un problema, pero si a nivel de canales de riego, dónde en muchos sectores se superan los límites de la norma NCh 1.333 debido principalmente de la actividad ganadera y la falta de un sistema sanitario doméstico rural.

- Contaminación difusa por pesticidas: el estudio de CADE-IDEPE (2004f) aplicó una metodología para estimar contaminación difusa para la cuenca del río Maule y algunas subcuencas, y concluyó que "potencialmente existen algunos compuestos activos que podrían estar sobre el valor establecido para la clase 1 en el Instructivo Presidencial. Estos serían: Aldicarb, Carbofurano, Trifluralina, Clorotalonil, dicoflop-Metil y Atrazina+S-Metalocloro. Sin embargo, según los entrevistados, se señala que existe la certeza de la presencia de contaminantes en aguas subterráneas y superficiales por el uso intensivo en la agricultura de pesticidas y otros agroquímicos, que no se refleja en las diferentes investigaciones realizadas en la zona.

### 15.7.2 Estado de Biodiversidad, Humedales y Estuarios

En la cuenca existen tres áreas bajo la protección del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), la Reserva Nacional Los Bellotos del Melado, la Reserva Nacional Altos de Lircay (CADE-IDEPE 2004f) y el Parque Nacional Radal Siete Tazas, que nace de la desafectación del área de la Reserva Nacional Radal Siete Tazas (de 1.009 hectáreas) en agosto de 2008 (CONAF 2008a y 2008b). Con estas áreas protegidas se otorga una cierta protección de los ambientes que permitirían una conservación y resguardo de las especies presentes en esas zonas.

En relación al agua, los entrevistados señalan que los efectos ambientales que se perciben en la cuenca por contaminación, procesos de eutricación, o por reducción de caudales apropiados para la mantención de ecosistemas son una notoria degradación de los ecosistemas en algunos tramos de ríos y esteros, sin embargo los impactos ambientales asociados a la presencia mínima de caudales no han sido analizados en profundidad y no ha habido mayor interés en desarrollar tales estudios. Respecto de fenómenos de eutrofización, se reconocen malos olores en algunos cuerpos de agua



artificiales como canales y embalses de acumulación, mientras que se asocia también a la calidad del agua la presencia de enfermedad de animales que consumen de esta agua.

No hay información oficial ni se hace referencia de parte de los entrevistados sobre problemas específicos en zonas de humedales ni en la zona del estuario del río Maule, la única referencia señala que el estuario del río Maule, comienza a degradarse desde comienzos del siglo pasado ligado al crecimiento de la ciudad de Constitución y que en la actualidad presenta un alto grado de deterioro, ligado principalmente a la eliminación de desechos industriales y urbanos (Stuardo y Valdovinos 1989)

## **15.8 Cuenca del río Biobío**

### **15.8.1 Contaminación Hídrica**

Considerando la cantidad de descargas industriales y efluentes municipales, el río Biobío es uno de los cuerpos de agua más altamente cargados con contaminantes. Sin embargo, la actual implementación de tecnologías de tratamiento de aguas servidas (hoy en día prácticamente el 100% de las aguas servidas son tratadas) han reducido notablemente la magnitud de los problemas de contaminación puntual. Debido a lo anterior, la atención debe centrarse principalmente en la concentración de microcontaminantes provenientes de fuentes puntuales (industria de celulosa), los cuales no son eliminados por las tecnologías implantadas actualmente y en fuentes no puntuales de contaminación (Proyecto TWINBAS 2007).

Las descargas puntuales desde la industria, las descargas difusas desde la agricultura y la actividad forestal son las presiones más importantes en la cuenca del río Biobío. Sin embargo, la actividad de mayor impacto sobre la calidad del agua del río es la industria de la celulosa, cuyos principales contaminantes son los AOX (Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles<sup>48</sup>, descargando en conjunto 250 m<sup>3</sup>/ton de pulpa, la industria petroquímica ubicada en la desembocadura del río Biobío (ENAP con su planta Petrox) con una descarga de 13 m<sup>3</sup>/ton de petróleo crudo, y IANSA (Industria Azucarera Nacional S.A.) en Los Ángeles que descarga 74 m<sup>3</sup>/ton de azúcar hacia el río Quilpué (Proyecto TWINBAS, WP5 2007).

Otra fuente de contaminación puntual importante son las aguas servidas de origen urbano. Sin embargo, estas se encuentran prácticamente tratadas en su totalidad. El único depósito de sólidos de origen urbano que se considera como una potencial fuente de contaminación puntual de las aguas subterráneas está localizado en la parte norte del valle central y está asociado a la ciudad de Los Ángeles (Proyecto TWINBAS, WP5 2007).

Las fuentes difusas de contaminación en la cuenca están directamente relacionadas con las actividades agrícola y forestal. Los principales contaminantes asociados a este tipo de actividades son sedimentos, nutrientes y pesticidas. De acuerdo al mapa de uso de suelo, 20,5% de la cuenca corresponde a suelos agrícolas y 35,4% a plantaciones forestales. Consecuentemente, las áreas que son una fuente potencial de contaminación difusa corresponde al menos al 55,9% de la cuenca. A pesar del alto potencial de contaminación difusa, estos procesos no han sido extensamente estudiados. Para la cuenca del Biobío el mayor problema de contaminación difusa es la erosión provocada

<sup>48</sup> Comunicación personal Dr. Oscar Parra B. Director del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. 19 de mayo de 2009.

por el agua: se estima que cerca del 50% de la superficie de la cuenca presenta un daño severo debido a este tipo de erosión (Peña y Carrasco 1992, citados por Proyecto TWINBRAS WP5 2007). Es también importante considerar que en adición al impacto negativo que tienen los sedimentos por sí mismos en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, estos sedimentos también son un importante vector para el transporte de otros componentes potencialmente nocivos, tales como nutrientes y químicos usados en las actividades agro-forestales (Proyecto TWINBAS, WP5 2007).

Según el Programa de Monitoreo de la Calidad del Agua del Sistema río Biobío/1994-2004 realizado por el centro EULA de la Universidad de Concepción (Parra *et al.* 2004), en toda la cuenca la calidad del agua satisfaría los criterios de la futura Norma Primaria, con la excepción del **Aluminio e Hidrocarburos Totales** que la superaría en toda la cuenca y los **Coliformes Fecales** en los ríos Guaqui y Vergara y desde la confluencia de éste último con el río Biobío hasta la Desembocadura (Tabla 59). Por otra parte los criterios internacionales para proteger la vida acuática se satisfacen plenamente, con excepción de Amoníaco, Nitrito y Fenoles en la parte baja del río. Según el Dr. Oscar Parra<sup>36</sup>, la principal fuente de Hidrocarburos Totales sería la maquinaria utilizada para la extracción de áridos a través de toda la cuenca. ENAP también es una fuente de hidrocarburos en la parte baja de la cuenca.

**Tabla 59: Contaminantes relevantes cuyos parámetros exceden la futura norma primaria, en la cuenca del río Biobío**

Contaminantes relevantes	Fuente contaminante	Valor	Norma (Máximos percentil 66)
Hidrocarburos totales*	Antrópica	0.33-0.71 mg/L	0.50 mg/L
Coliformes fecales*	Antrópica	2400 - 49640 NMP/100ml	24000 NMP/100 ml
Aluminio**	Natural	0.01-1.4 mg/L	0.41 mg/L

Fuente: Elaboración propia en base a CADE-IDEPE (2004g) y Parra *et al.* (2004).

\* Parra *et al.* (2004).

\*\* CADE-IDEPE (2004g). La actualización de estos valores estará disponible en un nuevo informe del centro EULA que se espera para junio-julio de 2009.

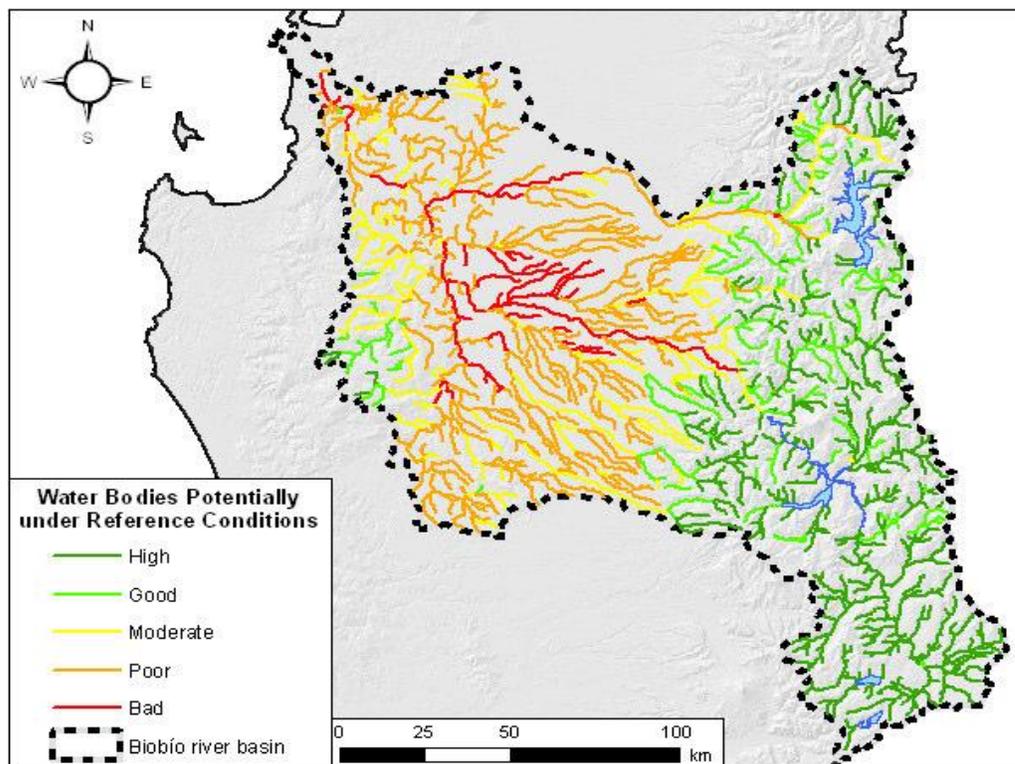
### 15.8.2 Estado de Biodiversidad, Humedales y Estuarios

Los ecosistemas de la cuenca han sido seriamente impactados debido al efecto combinado de las diferentes actividades humanas (silvicultura, agricultura, industria, urbanización). Las cosechas, la conversión del uso de la tierra y los incendios forestales han fragmentado y degradado severamente el área todavía cubierta por vegetación nativa. Mientras, el régimen hidrológico y la morfología local de la hoya han sido impactados por la construcción de represas, extracción de áridos y prácticas de riego, sus efectos sobre la biodiversidad acuática permanecen aún desconocidos (Proyecto TWINBAS 2007).

En la Figura 10 es posible observar el estado natural de los cuerpos de agua superficial de la cuenca del río Biobío. Desde el mapa se puede observar que los cuerpos de agua con un alto potencial de representar las condiciones de 'referencia' o 'natural', se encuentran localizados exclusivamente en la cordillera de los Andes. La única excepción la presenta las zonas de mayor altitud de la cordillera de la Costa (zona cordillera de Nahuelbuta), donde algunos cuerpos de agua pueden potencialmente representar

condiciones naturales sin alteración alguna. Las áreas localizadas en el valle central y en la parte baja de la cuenca potencialmente presentan condiciones altamente alejadas del estado natural, debido a una alta densidad poblacional y a que la mayoría de las actividades humanas se realizan en esta zona.

**Figura 10: Cuerpos de agua superficiales potencialmente bajo condiciones de referencia**



Fuente. Proyecto Twinbas WP6.2 (2007).

### 15.8.2.1 Estado de Biodiversidad

Uno de los principales efectos ambientales que se perciben en la cuenca se observan sobre las poblaciones de peces nativos (Dr. Oscar Parra 2009, comunicación personal)<sup>49</sup>. En la cuenca del río Biobío habitan 19 especies nativas de peces de las cuales 14 presentan problemas de conservación. La alteración del hábitat acuático por la acción del hombre ha provocado una pérdida o reducción en la distribución de las especies nativas, y una expansión en la distribución y abundancia de especies intolerantes introducidas (ej. *Gambusia holbrooki*, and *Cyprinus carpio*) en los últimos 10-15 años. Estas comparaciones sugieren un efecto a gran escala y de largo plazo de los impactos humanos recientes sobre los ríos (Habit et al. 2006).

Entre las principales amenazas que han atentado con la calidad del agua del río Biobío y la biodiversidad del ecosistema fluvial, destaca la plantación de especies forestales exóticas. El reemplazo de miles de hectáreas de bosque nativo ha provocado la pérdida de servicios ecosistémicos tales como: reserva y protección hídrica, reserva de

<sup>49</sup> Dr. Oscar Parra B. Director del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. Entrevista realizada el 19 de mayo de 2009.



biodiversidad, hábitat para la fauna asociada, calidad del paisaje, identidad local, patrimonio cultural con funciones en la investigación científica y en la educación en general. Por otra parte, los bosques nativos que aún se concentran en la parte media y alta de la cordillera andina, y que cubren aproximadamente 317.500 ha (13% de la superficie total de la cuenca) se caracterizan por presentar un estado de degradación muy acentuado (Valdovinos y Parra, 2006).

### 15.8.2.2 Humedales y estuarios

El principal humedal de la cuenca del río Biobío pertenece a la subcategoría 'Ríos y Esteros Permanentes' y se encuentra en el curso inferior del río Biobío (área de su desembocadura) (Valdovinos 2006).

El área de la desembocadura del río Biobío es considerada una fase de transición entre un estuario y un delta propiamente tal. En esta área existen extensos bancos de arena formados por la depositación del río y acción de olas y corrientes. En el tramo inferior del río, se forma una laguna estuarial, visible especialmente durante los meses estivales. Esta zona se caracteriza por presentar una alta biodiversidad de peces y aves. En los humedales del Gran Concepción, de los cuales el curso inferior del río Biobío forma parte, existen nueve especies que están clasificadas a nivel nacional dentro de la categoría Peligro de Extinción. El estado de conservación de estas especies al interior de los humedales puede ser considerado en seria amenaza, debido principalmente al grave deterioro de las cuencas de drenaje, alteraciones físicas y químicas en el medio acuático, y al efecto negativo de especies exóticas invasoras. En la Tabla 60 se presentan indicadores cualitativos del estado de conservación del humedal localizado en el río Biobío, clasificados en tres categorías (1=bueno, 2=regular, 3=malo). Estos indicadores de relevancia mayor fueron seleccionados del análisis de 16 parámetros contenidos en las bases de datos del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile (Valdovinos 2006).

Finalmente, es importante destacar que los caudales ecológicos por curso de agua **no están cuantificados**. Los únicos estudios que han determinado caudales ecológicos fueron los realizados por el centro EULA para la Central Rucue, en la subcuenca del río Laja. Estos fueron hechos con el objetivo de conservar las especies nativas de ese sector. En el resto de la cuenca la DGA ha determinado caudales ecológicos utilizando métodos estadísticos que no tienen ninguna validez en términos ecológicos<sup>50</sup>.

**Tabla 60: Indicadores cualitativos del estado de los humedales, clasificados en una escala de 1 a 3 (1=bueno, 2=regular, 3=malo). Se calculó el % de cada una de las tres categorías con el objeto de tener una calificación global del estado del sistema**

Indicador ambiental	Categoría
Fósforo total de la columna de agua	2
Contenido de materia orgánica en los sedimentos del fondo	1
Condición natural del hábitat físico ribereño	2
Cordones de macrófitas acuáticas	1
Oxígeno en aguas del fondo	1
Coliformes fecales de la columna de agua	2
Turbidez de la columna de agua	2
Nitrógeno total de la columna de agua	2

<sup>50</sup> Dr. Oscar Parra B. Director del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. Entrevista realizada el 19 de mayo de 2009.



Indicador ambiental	Categoría
% de indicadores en categoría 1 (bueno)	37,5%
% de indicadores en categoría 2 (regular)	62,5%
% de indicadores en categoría 3 (malo)	0,0%

Fuente. Valdovinos (2006).

## 15.9 Cuenca del río Baker<sup>51</sup>

### 15.9.1 Contaminación Hídrica

En términos globales, la calidad del agua de los principales cauces de la cuenca del río Baker se clasifica como de excepción (Salas 2004; CONAMA 2008b). Sin embargo, en algunos sectores de la cuenca algunos parámetros sobrepasan la Clase 0 de excepción (ver más sobre clases de calidad en el apartado 15.4.1 Contaminación hídrica de la cuenca del río Copiapó).

**Tabla 61: Principales contaminantes en la cuenca del Baker**

Contaminante	Origen	Ubicación del tramo	Valor	Norma Clase 0
Coliformes fecales	Antrópico	Río Cochrane Río Ibañez	240 NMP/100ml 80 NMP/100ml	< 10
Coliformes totales	Antrópico	Río Cochrane	350 NMP/100ml	< 200
DBO <sub>5</sub>	Antrópico	Estero del Baño	10 mg/L	< 2
Aluminio	Natural	Toda la Cuenca	0.1-2.8 mg/L	< 0.07

Fuente: Salas (2004).

El mismo diagnóstico concluyó que tanto el aluminio como los otros metales fuera de la clase de excepción provienen de fuentes naturales (suelos y rocas), por lo que su presencia no está asociada a actividades antrópicas. Los únicos parámetros que se identificaron como de origen antrópico fueron coliformes fecales, coliformes totales y DBO<sub>5</sub>; las fuentes de contaminación a las que se encuentran asociados se revisan más adelante.

Debido a la baja densidad de población y al bajo nivel de conectividad de la cuenca con el resto del territorio regional y nacional, las actividades humanas y las presiones asociadas a ellas son también reducidas (Proyecto TWINLATIN, WP06 2008). Una síntesis de dichas actividades y presiones se presenta en la Tabla 62:

**Tabla 62: Principales actividades en la cuenca y sus presiones asociadas**

Actividad	Fuentes Puntuales	Fuentes Difusas	Modificación de régimen hídrico	Modificaciones Morfológicas
Industria	X			
Agricultura		X		
Crecimiento urbano	X			
Ganadería		X		
Plantaciones forestales		X		
Conservación de obras hidráulicas y				X

<sup>51</sup> La información de este capítulo fue complementada también por entrevistas realizadas a: Fabián Espinoza Castillo, Directos Regional DGA Aysén; José Pablo Saez Villouta, Director Regional CONAMA Aysén; Giovanni Queirolo Palma, jefe de la oficina regional de la SISS Aysén; Marco Salgado, Comunidad de Aguas Chile Chico; Luis Hansen, Comité de Regantes de Bahía Jara.



Actividad	Fuentes Puntuales	Fuentes Difusas	Modificación de régimen hídrico	Modificaciones Morfológicas
extracción de áridos				
Emisiones de gases invernadero			X	X
Prácticas de manejo		X	X	X

Fuente: Proyecto TWINLATIN, WP06 (2008).

Las fuentes puntuales de contaminación en la cuenca están asociadas a dos elementos principales: los residuos industriales líquidos (RILES) y las descargas de aguas servidas (Proyecto TWINLATIN, WP06 2008). Según la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), estas últimas corresponden a las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de Cochrane, Chile Chico y Puerto Ingeniero Ibáñez, administradas por la empresa sanitaria Aguas Patagonia de Aysén S.A.

Además de estas fuentes, existen descargas de aguas servidas sin tratar, provenientes de localidades más pequeñas. Para obtener una idea de la magnitud de dichas descargas, el Proyecto TWINLATIN, WP06 (2008) calculó un promedio de 200 L/d/hab, a partir de lo cual elaboró la Tabla 63.

**Tabla 63: Descarga aproximada de aguas servidas en pequeñas localidades**

Localidad	Población (INE, 2002)	Descarga (L/s)
Villa Cerro Castillo	315	0,73
Península Levicán	18	0,04
Murta Bay	315	0,73
Sánchez Port	82	0,20
Puerto río Tranquilo	303	0,70
Mallín Grande	60	0,14
Bertrand Port	94	0,22
Tortel	320	0,74

Fuente: Proyecto TWINLATIN, WP06 (2008).

En complemento a los antecedentes anteriores, el Análisis de Impacto Económico y Social del Anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad de la Cuenca del río Baker (CONAMA 2008b) identifica las siguientes fuentes emisoras puntuales (Tabla 64).

**Tabla 64: Fuentes emisoras presentes en la cuenca del río Baker**

Comuna	Fuente Emisora
Chile Chico	Acopio temporal material Proyecto Furioso
	Centro de engorda salmones estero Thompson
	Piscina de sedimentación veta Javiera
	Plan minero, Planta Laguna Verde
	Planta de tratamiento de aguas servidas
	Proyecto Cascada
	Proyecto minero Fachinal
	Sistema de alcantarillado Puerto Guadal
Río Ibáñez	Agroacuícola Aysen III
	Alcantarillado Escuela Cerro Castillo
	Gestión de residuos sólidos urbanos Puerto Tranquilo
	Gestión de residuos sólidos urbanos Río Ibáñez
	Sistema de alcantarillado Internado Bahía Murta



Comuna	Fuente Emisora
	Sistema de alcantarillado y tratamiento aguas servidas
Cochrane	Actividades de exploración Proyecto Furioso
	Planta de tratamiento de aguas servidas
	Planta procesadora productos del mar
	Taller de lavado de redes
Tortel	Gestión residuos sólidos urbanos

Fuente: CONAMA (2008b).

### 15.9.1.1 Fuentes difusas de contaminación

Las fuentes difusas de contaminación en la cuenca están asociadas tanto a actividades antrópicas actuales como a acciones pasadas con efectos remanentes. Entre las primeras, destacan la minería y las actividades silvoagropecuarias; dada la pequeña proporción del territorio que ocupan, estas actividades no representan un problema para la calidad de agua de la cuenca como un todo, aunque sí pueden ocasionar impactos locales (Proyecto TWINLATIN, WP06 2008).

- **Minería:** La explotación minera en la cuenca se concentra en la ribera sureste del lago General Carrera, donde se ubican las minas Cerro Bayo y Fachinal, cuyas faenas se encuentran temporalmente paralizadas. Si bien no se cuenta con datos de contaminantes difusos asociados directamente a esta actividad, el Proyecto TWINLATIN, WP06 (2008) señala que podría estar afectando la calidad de agua del río Avilés y el estero El Baño, ambos afluentes del lago General Carrera.
- **Agricultura:** No se encontraron datos de pesticidas u otros contaminantes difusos asociados a la agricultura. No obstante, el Proyecto TWINLATIN, WP06 (2008) identifica dos zonas que podrían estar recibiendo una mayor carga de contaminantes por esta causa, especialmente durante los eventos de crecida. Se trata de los alrededores de las localidades de Chile Chico y Puerto Ingeniero Ibáñez, donde el desarrollo agrícola se vincula con los ríos Jeinimeni e Ibáñez, respectivamente.
- **Ganadería:** La fertilización de praderas forrajeras representa un flujo de contaminación difusa hacia los cuerpos de agua. Se estima que en la cuenca se utilizan alrededor de 26.613 kg/ha de fosfatos y 12.000 kg/ha de nitratos al año, entre otros nutrientes (SAG 2007, citado por CONAMA 2008b).
- **Actividad forestal:** Se extiende fundamentalmente en la subcuenca del río Ibáñez, a lo largo de los tramos medio y bajo del río. Aunque no se encontraron datos de contaminantes difusos asociados a esta actividad en la cuenca, se espera sus principales impactos estén en esta área, donde la pérdida de cubierta vegetal durante las épocas de tala puede incrementar los procesos de erosión, alterando la calidad del agua y los patrones de sedimentación del río.

En cuanto a acciones pasadas con efectos remanentes sobre la calidad de agua, destacan las siguientes (Proyecto TWINLATIN, WP06 2008):

- **Incendios forestales:** Como resultado de la política del Ministerio de Ocupación y Tierras, se quemaron grandes extensiones del territorio regional, especialmente durante la década de 1950. Tanto es así, que para conceder título de dominio de tierras, se le exigía a cada pionero quemar una superficie de 120 ha (Contreras 2007,



citado por Proyecto TWINLATIN, WP06 2008). El territorio más afectado en la cuenca corresponde a los fondos de valle, donde la pérdida de la cubierta vegetal ha generado serios problemas de erosión y arrastre de sedimentos que son depositados en la red de drenaje.

- **Sobrepastoreo:** El principal foco de actividad ganadera en la cuenca desde comienzos del siglo XX fue el valle del río Chacabuco; para el año 2004, la Estancia Chacabuco tenía 20.000 ovejas y 3.000 vacas en sus 69.000 ha. Por esta razón, si bien no existen datos de contaminación difusa asociada al sobrepastoreo en la cuenca, se asume que sus principales impactos están ubicados en esta zona (Proyecto TWINLATIN, WP06 2008).

### 15.9.2 Estado de Biodiversidad, Humedales y Estuarios

De acuerdo a la Estrategia Regional de Biodiversidad de la Región de Aysén (CONAMA, 2006), existen en la Región quince sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad; tres de los sitios prioridad I pertenecen a la cuenca del río Baker: sector Hudson, Estepa Jeinimeni-Lagunas Bahía Jara y Entrada Baker-Valle Chacabuco (Tabla 65). Los dos últimos comprenden zonas de humedales constituidos por extensos sistemas de lagunas dulceacuícolas y corresponden al ecosistema de la estepa patagónica, que se encuentra actualmente subrepresentado en el SNASPE.

**Tabla 65: Sitios priorizados para la conservación de la biodiversidad en la cuenca del río Baker**

Nombre	Sector Hudson	Estepa Jeinimeni - Lagunas Bahía Jara	Entrada Baker
Tipo	Terrestre	Terrestre - Aguas continentales	Terrestre
Superficie (Km <sup>2</sup> )	336,65	287,26	548,72
Biodiversidad	Bosque caducifolio Lenga	Estepa patagónica	Estepa patagónica - Lenga
Especies en categoría de conservación	<i>Hippocamelus bisulcus</i> <i>Myocastor coypus</i> <i>Campephilus magellanicus</i>	<i>Austrocactus patagonicus</i> <i>Schinus marchandii</i> <i>Ctenomys coyhaiquensis</i> <i>Eudromia elegans</i> <i>Phoenicopterus chilensis</i>	<i>Rhea pennata</i> <i>Hippocamelus bisulcas</i> <i>Lagidium viscacia</i> <i>Lama guanicoe</i> <i>Zaedyus pichiy</i>
Fundamentación	Alto grado de actividad forestal Corredor biológico Especies raras y vulnerables	Ecosistema frágil subrepresentado en ASPs	Ecosistemas poco representados en ASPs

Fuente: CONAMA (2006).

- **Estepa Jeinimeni - Lagunas Bahía Jara:** Este sitio abarca ecosistemas frágiles subrepresentados en el SNASPE regional, como la estepa patagónica y el bosque andino de lenga. Además, constituye un sitio de nidificación para la perdiz copetona (*Eudromia elegans*), y de reproducción para el roedor *Ctenomys coyhaiquensis*, ambas especies en categorías de conservación. Es, también, un sitio de alimentación y reproducción para aves acuáticas y terrestres, albergando nueve especies de patos silvestres, cisne de cuello negro, flamenco chileno, rapaces diurnos y nocturnos, y



otras numerosas especies. Otra característica de este sitio, es que se encuentra colindante a la Reserva Nacional Jeinimeni, en una zona que presenta un alto grado de intervención con cultivos, actividad minera, avance urbano y subdivisión predial.

- Entrada Baker-Valle Chacabuco: Este sitio pertenece desde el año 2004 a la Fundación Conservación Patagónica, cuyo proyecto es crear el Parque Nacional Patagonia, uniendo Valle Chacabuco con las Reservas Nacionales Lago Jeinimeni y Lago Cochrane, lo que generaría una gran superficie protegida de aproximadamente 237.000 ha. El sitio constituye un corredor biológico entre ambas Reservas, para especies con problemas de conservación como huemul, vizcacha austral, cóndor, ñandú, chingue patagónico, entre otras. Además, posee un sistema importante de lagunas y mallines, constituyéndose como un sitio de reproducción de aves dulceacuícolas. En términos de flora y vegetación, este sector alberga una importante diversidad de especies, especialmente de la formación del bosque de Lengua (*Nothofagus pumilio*) y la estepa patagónica, que corresponden a ambientes poco representados en el SNASPE a escala regional.

Por otra parte, se han identificado cuatro áreas de relevancia ambiental vinculadas al agua en la cuenca (EULA 2008), dentro de las cuales se encuentran parcialmente contenidos los sitios priorizados Estepa Jeinimeni-Lagunas Bahía Jara y Entrada Baker-Valle Chacabuco. Estas áreas destacan por su importancia para la conservación de población de especies ícticas nativas, y son las siguientes:

- Lago Verde-Lago Lapparent-Río Ibáñez: Este sector se caracteriza por presentar poca información sobre su ictiofauna, sin embargo, tiene un interesante sistema de pequeñas lagunas que podrían contener poblaciones singulares de las especies nativas descritas para la cuenca. Además, representa el área norte de la cuenca, poco estudiada hasta ahora y el límite sur de la Reserva Cerro Castillo.
- Chile Chico-Bahía Jara-Lago Jeinimeni: Este sector corresponde a la zona de Estepa Jeinimeni, parcialmente incluida en la Reserva Nacional Lago Jeinimeni. Destaca por albergar interesantes poblaciones de *Odontesthes hatcheri* y *Galaxias platei*.
- Río Baker-Confluencia Río Chacabuco-Río Cochrane-Lago Esmeralda: Este sector, que incluye al sitio priorizado Entrada Baker-Valle Chacabuco, es uno de los de mayor diversidad íctica de la cuenca. Rerepresenta las características propias del sistema fluvial aguas abajo de la influencia del Lago General Carrera.
- Río Baker y Tributarios aguas abajo del Saltón: Representa el sector sur de la cuenca y la zona baja del río. En general, las zonas bajas de los sistemas fluviales son de mayor riqueza y diversidad de especies de peces, por lo que es un área de interés. Además, en éste sector existen especies que no han sido descritas aguas arriba, como *Aplochiton zebra*.

### 15.9.2.1 Glaciares

La cuenca del río Baker cuenta con una gran cantidad de glaciares, entre los que destacan el Nef, De la Colonia, León y Soler, que forman parte de Campos de Hielo Norte. Todos ellos constituyen importantes reservorios de agua dulce, de los cuales se alimenta, en mayor o menor medida, gran parte de los cauces de la cuenca.



Según el estudio realizado por Aniya (2007, citado por DGA 2007) en 21 glaciares de Campos de Hielo Norte, durante los últimos 60 años se ha observado una tendencia general al retroceso, la cual se ha intensificado a partir de la década del '90. En el caso de los glaciares que forman parte del territorio de la cuenca, las tasas anuales de retroceso para el período comprendido entre 1944/45 y 2004/05 fluctúan entre los 4 y los 81 metros. Los máximos retrocesos observados en este período corresponden al glaciar Cachet, con un total de 4.850 metros en su frente norte y 3.750 metros en su frente oeste; destaca también el glaciar Nef, con un retroceso total de 3.400 metros. Los menores retrocesos, en tanto, corresponden a los glaciares León y Soler, con 250 y 850 metros, respectivamente.

En la cuenca hay numerosos conflictos por el uso del agua, por las afecciones que empresas y otras actividades hacen sobre el recurso y sobre la sustentabilidad de los cauces e infraestructuras. Existen también conflictos de objetivos, entre los usuarios formalmente constituidos y usuarios *in situ*, afectando diversos intereses, como el turismo, la recreación, el potencial generador eléctrico, los usos agrícolas, industriales y mineros (considerando minería la extracción de áridos).

## 15.10 Conclusiones

A diferencia del análisis realizado sobre el estado ambiental de las cuencas en función del agotamiento de las aguas, el estado ambiental desde la perspectiva de la contaminación es diverso, aunque todas las cuencas presentan algún tipo de problema asociado a su calidad, superando las normas establecidas para los diferentes usos.

En general, todas las cuencas presentan problemas por contaminantes que superan las normas de calidad de agua. La descripción de presencias de contaminantes en cada cuenca tiene un origen diferente, sea de origen natural como en el caso del Lluta o directamente relacionado a una actividad productiva como es el caso del río Biobío y la industria de la celulosa.

En el caso de los residuos domiciliarios, la tendencia es a reducir las cargas contaminantes por la ampliación de las plantas de tratamiento de aguas servidas a lo largo del país. Sin embargo, en las zonas rurales se hace referencia a serios problemas de contaminación con desechos de origen doméstico en cauces superficiales artificiales que estarían poniendo en juego la calidad de agua para riego según la norma chilena como también en relación a las exigencias internacionales para la exportación de productos de la agricultura.

En general la contaminación química resulta ser de origen natural y como resultado de la presencia de la actividad minera, y es en relación a este tipo de contaminación donde se observa mayor preocupación en relación a la salud, por parte de los usuarios y autoridades.

La contaminación difusa que se generaría principalmente de la actividad agrícola y forestal aparece como la situación emergente que provoca mayor interés, en específico sobre la calidad de las aguas subterráneas puesto que en este caso su fiscalización y remediación aparecen como complejas de resolver.



## 16 ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS INDUSTRIAS SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS

### 16.1 Introducción

La actividad industrial moderna se caracteriza por generar residuos líquidos<sup>52</sup> que contienen una amplia gama de compuestos químicos según el tipo de industria y proceso de producción. Entre los elementos, compuestos y efectos contaminantes producidos por la industria se destacan: la materia orgánica ( $\text{DBO}_5$ ), sólidos en suspensión, cambios significativos del pH, cambios de temperatura, aceites, grasas, metales pesados, y compuestos químicos orgánicos e inorgánicos. Especial preocupación existe a nivel mundial por la producción y descarga al ambiente de sustancias orgánicas persistentes, que son compuestos sintéticos altamente tóxicos que no se biodegradan, permaneciendo químicamente activos por mucho tiempo y diseminándose a largas distancias. Estos compuestos se acumulan y concentran en los organismos, aumentando su peligrosidad al ir ascendiendo en la cadena trófica (Orrego 2002).

Según Cabrera (1994), en Chile las descargas industriales más relevantes en el deterioro de la calidad del medio acuático provendrían de la minería del cobre, fábricas de celulosa y papel y de las industrias pesqueras. A estos rubros, Peña y Salazar (1993) agregan la industria alimenticia y agroindustria, industria metalúrgica y metalmecánica, industria del cuero e industria textil. Los aportes más significativos de carga orgánica producto de los residuos industriales líquidos se dan en las cuencas de los ríos Maipo, Aconcagua, Andalién y Biobío, sin considerar sus caudales de dilución. Los problemas de contaminación producidos por efluentes de industrias mineras ocurren principalmente en ciertas áreas del norte del país, donde gran cantidad de relaves y residuos son depositados en el mar, produciendo embancamientos y el deterioro de la flora y la fauna (Cabrera 1994).

En 1993, la DGA (Peña y Salazar 1993) afirmaba que la heterogénea distribución regional de industrias en Chile concentraba los problemas de contaminación por RILES en tres zonas principales: la Región Metropolitana (cuencas de los ríos Maipo y Mapocho); la VIII Región (cuenca del río Biobío); y Valparaíso / Viña del Mar (cuenca de los ríos Aconcagua y Marga-Marga); respecto a la contaminación de las aguas superficiales por efluentes industriales, se concluía que en el resto del país, los efluentes industriales descargados a los cauces no presentan un impacto comparable al observado en estas tres áreas. En general, ellos consisten en residuos provenientes de agroindustrias, industrias alimenticias (mataderos), curtiembres, aserraderos y otras. Esta conclusión de la DGA en términos generales representa la situación actual, pero la veloz y creciente industrialización del país desde la fecha de los informes citados, ha tenido como consecuencia que otras cuencas mayores, tales como las de los ríos Rapel, Maule, Imperial, Valdivia y Bueno, y otras subcuencas, estén hoy siendo afectadas en forma importante por descargas de RILES de diversas industrias (Orrego 2002).

Respecto a la contaminación de las aguas subterráneas, éstas tienen características que las diferencian claramente de los procesos de contaminación de las aguas superficiales.

<sup>52</sup> RILES: Residuos industriales líquidos.



Algunas de sus peculiaridades son: la dificultad de detección, el retardo que se presenta entre la acción de la fuente contaminante y su impacto, la permanencia prolongada del efecto, la reacción retardada frente a las medidas correctivas que se pudieran adoptar, y la naturaleza de los procesos fisicoquímicos e hidrodinámicos involucrados.

Debido a estas características, el énfasis necesariamente debe estar puesto en la prevención, ya que una vez producido el deterioro resulta una situación prácticamente irreversible o extraordinariamente costosa (Peña y Salazar 1993). La contaminación de los acuíferos se produce por infiltración en pozos con residuos industriales y por percolación desde tranques de relave, lagunas de estabilización y rellenos sanitarios. En Chile, muchas veces, la minería se desarrolla en la cordillera, en las cabeceras de las cuencas. De este modo, los acopios de elementos tóxicos, los tranques de relaves, los vertidos y efluentes de esta actividad, pueden afectar en forma negativa las aguas superficiales y subterráneas aguas abajo de las cuencas hasta las zonas costeras (Orrego 2002).

En los siguientes apartados se analizarán los impactos ambientales de las industrias sobre los recursos hídricos bajo dos perspectivas: agotamiento del recurso (extracción de agua) y degradación del medio ambiente por contaminación, en cada una de las cuencas seleccionadas para este estudio. La revisión en términos de degradación por contaminantes, se centrará principalmente en los recursos hídricos superficiales debido a la poca disponibilidad de información respecto a aguas subterráneas.

## 16.2 Cuenca del río Lluta

La existencia de actividad industrial en la cuenca del río Lluta es prácticamente nula, concentrándose la demanda por agua en el sector minero (Tabla 66).

**Tabla 66: Estimación actual y proyección futura de demanda de agua para uso minero en la cuenca del río Lluta**

Subcuenca	Caudal demandado (m <sup>3</sup> /s)		
	Actual	Futuro a 10 años	Futuro a 25 años
Río Lluta	0,209	0,237	0,338

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a).

El principal problema en la cuenca del Lluta, a diferencia de Azapa, Copiapó y otros ríos del norte grande, no es la cantidad de agua sino la calidad de éstas. Contaminantes como boro y arsénico bajan la productividad de los cultivos y obligan a realizar tratamientos del recurso hídrico. Esta alta contaminación es fundamentalmente de origen natural, aunque algunas organizaciones locales y personalidades públicas extienden la preocupación hacia la actividad minera, vinculando los altos niveles de contaminación con este sector productivo<sup>53</sup>.

Sin embargo, la situación descrita debe ser observada en perspectiva, ya que según se señala en el Plan Regional de Desarrollo Urbano (2001), a nivel regional, el sector económico con la mayor expansión en el período 1990-1997 fue la Minería, con una tasa promedio de crecimiento de 21,3% anual. La perspectiva de esta planificación apunta a un mayor desarrollo del sector minero, al mismo tiempo que se pronostica un

<sup>53</sup> Entrevistas realizadas representantes de organizaciones de usuarios de aguas y de la DGA.

incremento en el sector agrícola, basado en una ampliación de la superficie de riego y un desarrollo de la agroindustria. Esta situación constituye una amenaza más sobre un sistema altamente afectado por la propia formación litológica.

Al respecto, una muestra de la preocupación respecto a los problemas de contaminación, ha sido el temor que ha generado en la población civil por el anuncio en el año 2007, de la posible puesta en ejecución de un proyecto minero en Perú, por parte de la empresa MINSUR, quien explotará el yacimiento aurífero de Pucamarca. El temor es que la ejecución de dicho proyecto pueda incrementar los niveles de contaminación por efecto de los posibles impactos sobre el Río Azufre afluente del río Lluta.

## 16.3 Cuenca del río Loa

### 16.3.1 Uso del agua para procesos industriales

A lo largo del extenso cauce del río Loa y sus cercanías, se encuentra una serie de actividades industriales, principalmente relacionadas con la gran actividad minera metálica y no metálica que se desarrolla en la región. Entre las más importantes se encuentran: Minera El Abra, Minera Radomiro Tomic, Complejo Minero CODELCO-Chuquicamata, Planta de Abatimiento de Arsénico de ESSAN S.A. en Cerro Topater Calama, Planta de Explosivos de ENAEX-Calama, Planta de boratos abandonada en sector Coya Sur-Crucero, y Planta de producción de Salitre Potásico de María Elena-Coya Sur de Soquimich (SQM). La mayoría de estas actividades utilizan las aguas del río Loa para faenas de beneficio de minerales que ellas extraen a través de extracciones en distintos puntos del río y sus afluentes (CADE-IDEPE 2004B). En la Tabla 67 se muestran las demandas estimadas de agua actuales y futuras por parte del sector minero.

**Tabla 67: Estimación actual y proyección futura de demanda de agua para uso minero en la cuenca del río Loa**

Subcuenca	Caudal demandado (m <sup>3</sup> /s)		
	Actual	Futuro a 10 años	Futuro a 25 años
Loa Alto	0,694	0,854	1,218
Loa Medio y Bajo	4,759	5,854	8,351
<b>Total</b>	<b>5,453</b>	<b>6,708</b>	<b>9,569</b>

Fuente. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a).

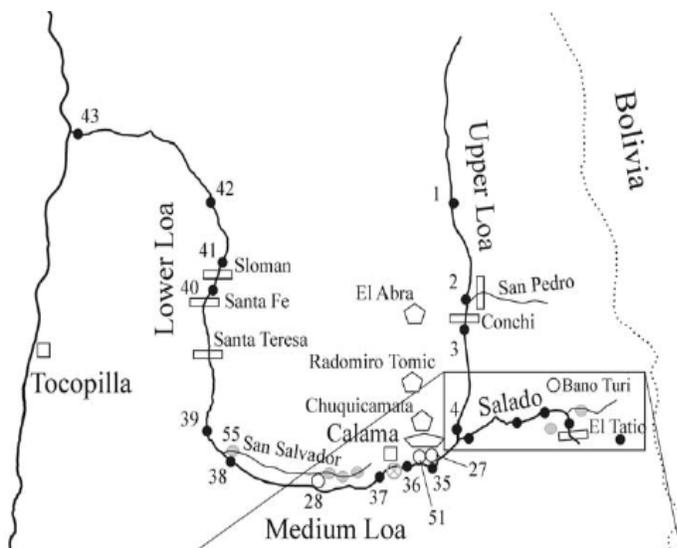
De acuerdo a la Tabla 67, los aumentos de caudal requeridos, en relación al uso actual, por el sector minero a 10 y 25 años son de 1,255 y 4,116 m<sup>3</sup>/s respectivamente, lo que representa al 95% del total de agua demandada en la cuenca del río Loa (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007a). Debido a la imposibilidad de asignar nuevos derechos consuntivos permanentes ni eventuales (el cauce del río Loa y de sus afluentes se encuentra legalmente agotado), (DGA 2005a), y a que las reservas de agua subterránea sólo permitirían otorgar derechos de 0,689 m<sup>3</sup>/s en el sector más crítico (DGA 2003), el aumento de la demanda no podrá ser satisfecha en su totalidad. Por ende, la minería, seguirá siendo la principal presión que tengan los recursos hídricos de la hoya, condicionando la disponibilidad y calidad del agua para los demás usos, si es que no se exploran nuevas fuentes de recursos no convencionales (aguas desaladas y/o aguas depuradas).

### 16.3.2 Descargas de efluentes industriales y efectos ambientales percibidos sobre los recursos hídricos

Fritsch *et al.* (1999) evaluaron de manera preliminar el riesgo ambiental que la actividad minera presenta para el río Loa y sus tributarios. De su informe se desprende que la 'minería pasiva' (que incluye faenas abandonadas de azufre, oro, cobre, y salitre) no representa un potencial apreciable de contaminación para el río Loa. Entre las faenas de 'minería activa', las más importantes corresponden a la gran minería del cobre y entre éstas, la mayor y de más alto potencial de contaminación es Chuquicamata.

Las principales emisiones de contaminantes de Chuquicamata corresponden a polvo y material particulado, anhídrido sulfuroso y arsénico en la fundición de concentrados, residuos industriales líquidos evacuados hacia el Salar de las Indias y relaves de flotación evacuados hacia el Tranque de Talabre. En cuanto al potencial de contaminación de las otras grandes faenas de extracción y beneficios de minerales de cobre, El Abra y Radomiro Tomic, caben mencionar que el riesgo de contaminación está asociado a la extracción de mineral con minería de rajo abierto (polvo) y al beneficio mediante lixiviación ácida y electroobtención (derrame accidental de soluciones). Respecto a este último riesgo, El Abra tiene, por su ubicación más cercana al río Loa, un mayor potencial contaminante. La ubicación de las principales faenas ubicadas en la cuenca y un resumen de los posibles impactos que la minería del cobre puede causar sobre el río Loa están descritos en la Figura 11 y Tabla 68, respectivamente.

**Figura 11: localización de las principales faenas mineras en la cuenca del río Loa**



Fuente: Adaptación desde Romero *et al.* (2003).

**Tabla 68: Potencial de contaminación sobre el agua potable y posible impacto ambiental de la industria minera del cobre sobre el río Loa**

Nombre de la faena y ubicación	Potencial de contaminación sobre el agua	Posible impacto sobre el río Loa
División Rodomiro Tomic Comuna de Calama	Derrame de soluciones ácidas podría contaminar las aguas subterráneas. El potencial se estima bajo	Despreciable. En caso de derrame accidental de soluciones ácidas, éstas no escurren al río.
División Chuquicamata, Comuna de Calama	Migración a las aguas superficiales y subterráneas de contaminantes contenidos en RILES en lagunas de estabilización/evaporación, así como de contaminantes emitidos por la chimenea de la fundición. El potencial se estima bajo a moderado.	Posible contaminación con arsénico (en especial antes de la implementación del Plan de Descontaminación de la Fundición), por arrastre del arsénico depositado en los suelos. Posible contaminación por filtraciones de RILES a las aguas subterráneas, que podrían llegar al río.
Sociedad Minera Contractual El Abra, Comuna de Calama	Derrame de soluciones ácidas podría contaminar las aguas subterráneas. En forma superficial, podrían escurrir accidentalmente hasta el río. El potencial se estima bajo a moderado.	Posible contaminación por derrame accidental y escurrimiento de soluciones hasta el río.

Fuente: Fritsch *et al.* (1999).

Respecto a las faenas de beneficio de nitratos (salitreras) éstas tienen un potencial de contaminación de las napas subterráneas por derrame accidental de aceites usados y combustibles. En cuanto a su efecto sobre el río Loa, su riesgo de contaminación se estima despreciable. (Fritsch *et al.* 1999).

Adicionalmente, los mismos autores, por medio de un muestreo sistemático de aguas superficiales y sedimentos fluviales, pudieron determinar las características de la distribución regional del arsénico y de otros elementos de relevancia ambiental en la cuenca (tal como el cobre). Con una metodología que permitió distinguir entre las concentraciones del fondo geogénico y las de aporte antropogénico se llegó a la delimitación en los suelos residuales de anomalías bien marcadas y estructuradas de arsénico, cobre y molibdeno, cuyos centros se ubican al noroeste y norte así como al sudoeste de Chuquicamata. Esta triple anomalía corresponde al aporte antropogénico de estos elementos y refleja en su distribución regional el impacto, a través de material particulado, de las emisiones de la fundición de Chuquicamata sobre los suelos de zonas aledañas a esta faena minera.

El 11 de marzo de 1997 ocurrió un episodio severo de contaminación, en la zona de los embalses Santa Fe y Sloman. Pese a que la prensa insinuó que la mina de Chuquicamata, con una fuga de reactivos de flotación (xantato en particular), fue el causante del evento, éste con todas las características que acompañaron su manifestación (coloración negra, turbiedad, olores agresivos de las aguas, generación de espuma, mortandad de peces, aumento súbito de la carga de elementos disueltos en las aguas) tuvo un origen natural (CONAMA 1997; SEREMI SALUD II Región 1997; Fritsch



*et al.* 1999). Sin embargo, Fritsch *et al.* (1999) denuncian que el arsénico emitido por muchos años desde la fundición pudo haber contribuido a un aumento de la concentración en la superficie de los suelos, la que por acción de arrastre eólico y escurrimientos superficiales violentos como los ocurridos en marzo de 1997, pudo haber contribuido a las altas concentraciones observadas en los sedimentos del río. Al respecto, Romero *et al.* (2003) mostraron que los desechos provenientes de las faenas mineras (como por ejemplo, Chuquicamata) depositados en el pasado en las riberas del río Loa, tratamientos inadecuados de los efluentes provenientes de las minas, y los efluentes ricos en arsénico procedentes de las planta de tratamiento de agua de Calama, representan fuentes potenciales de contaminación por arsénico, lo que respalda la observación hecha por Fritsch *et al.* (1999). Sin embargo, Romero *et al.* (2003) hacen hincapié de que la pobre calidad del agua no puede ser directamente atribuida a la intensa actividad minera. El clima caracterizado por una extrema sequedad podría explicar la baja movilización de contaminantes desde aquellos sitios.

Actualmente, la remoción y movilización de grandes cantidades de sedimentos contaminados y desechos mineros abandonados producto de eventos de precipitación extremos en la Cordillera de los Andes, como fue observado en 1997, 2000 y 2001, son el mayor riesgo medioambiental al cual está sometida la cuenca del río Loa (Romero *et al.* 2003).

## **16.4 Cuenca del río Copiapó**

### **16.4.1 Uso del agua para procesos industriales**

La actividad industrial en la cuenca es mínima, sin embargo, es posible distinguir cierta demanda de agua en el sector medio y bajo de la cuenca (0,010 m<sup>3</sup>/s). La minería, por su parte, está presente principalmente en los tramos medio y bajo de la cuenca coincidiendo con la demanda de agua para la población local. Los requerimientos de la minería son atendidos en un 95% por recursos subterráneos (CADE-IDEPE 2004c) y ascienden a 0,341 m<sup>3</sup>/s (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007a). Los caudales demandados por la industria y minería representan aproximadamente el 0,18% y 6,2% de la demanda total actual de recursos hídricos en la cuenca, respectivamente (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007a).

El uso principal de agua en las minas de cielo abierto es en el riego de caminos con objeto de reducir el polvo en suspensión. Se trata, por ende, de consumo, pues finalmente se evapora. En la minería subterránea, el consumo del agua es reducido.

A pesar de que en términos relativos, la minería se caracteriza por una baja extracción de agua, el medioambiente del valle del Copiapó está amenazado debido al establecimiento de numerosos proyectos mineros que compiten fuertemente con las otras actividades económicas por el uso del agua. Al respecto, Cerro Casals, con una inversión de 2.300 millones de dólares, es el proyecto más grande a realizarse en el valle del Copiapó. Dicha obra extraerá agua desde sectores altos de la cuenca, donde antes se extraía agua para uso agrícola y urbano, lo cual supone nuevos conflictos entre los diferentes usos (Romero *et al.* 2008). En efecto, en la Tabla 69 se muestra un aumento de la demanda estimada por recursos hídricos por parte de la minería de un 160% y 277% a 10 y 25 años, respectivamente.



**Tabla 69: Estimación actual y proyección futura de demanda de agua para uso minero e industrial en la cuenca del río Copiapó**

Subcuenca	Caudal demandado (m <sup>3</sup> /s)					
	Actual		Futuro a 10 años		Futuro a 25 años	
	Minería	Industrial	Minería	Industrial	Minería	Industrial
Copiapó Alto	0,020		0,051		0,074	
Paipote	0,206	0,000	0,300	0,000	0,435	0,000
Copiapó Medio y Bajo	0,115	0,010	0,536	0,019	0,777	0,052
<b>Total</b>	<b>0,341</b>	<b>0,010</b>	<b>0,887</b>	<b>0,019</b>	<b>1,286</b>	<b>0,052</b>

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a).

La importancia que se le asigna a los requerimientos, denuncias y estudios relativos a la disponibilidad del recurso es significativa. A pesar que la información existente no es de 'carácter formal', se ha considerado seleccionar algunas, con extractos de comentarios y ponencias, los que en ocasiones hacen referencia a datos e informaciones que no es posible garantizar su consistencia:

*Coordinadora Regional por la Defensa del Agua y el Medioambiente de Copiapó.* Esta organización conformada en enero de 2009 reúne a dirigentes vecinales, sindicales, ambientalistas, artistas, comuneros, agricultores, al obispo de la Región de Atacama, organizaciones de base cristianas, clubes sociales, organizaciones de artesanos, comunidades diaguitas, y otros. Esta organización señala que la minería tiene en crisis la cuenca del río Copiapó, desde donde se extraen entre "12 a 13 mil litros por segundo y sólo recibe como recarga 5 mil litros por segundo, según información de Sernageomin, Atacama", en tanto que el caudal del río Salado desapareció. Se destaca que "la autoridad por su parte otorgó más de 4 millones de hectáreas para concesiones mineras, lo que incrementará la demanda de agua y el estrés hídrico de la región". Se denuncia que existe una menor potencia del agua potable y que "hay constantes cortes nocturnos y sectoriales y un limitado acceso al agua para los medianos y pequeños agricultores" (Observatorio Ciudadano 2009).

Por otra parte, la crisis a que se hace referencia está derivando en conflictos que pueden entorpecer aún más los pasos que se encaminen a una gestión integrada. Es así que recientemente la Comunidad de Aguas Subterráneas de la cuenca del Río Copiapó y las Comunidades de los Canales Chamonate y Toledo, se marginaron de la mesa pública y privada del agua, con el argumento de que "a través de ella sólo se valida la pésima gestión que ha desarrollado el gobierno con respecto al tema, no encontrándose las garantías suficientes que aseguren una real disposición a solucionar esta masacre ambiental" (Observatorio Ciudadano 2009).

#### **16.4.2 Descargas de efluentes industriales y efectos ambientales percibidos sobre los recursos hídricos**

La minería se concentra principalmente en la comuna de Copiapó, donde se han identificado 74 faenas mineras, mientras que en la comuna de Tierra Amarilla existe un total de 44 faenas. Del total de faenas mineras y empresas asociadas a la extracción del mineral de cobre y oro que descargan sus efluentes al río Copiapó directa o indirectamente (alcantarillado), se han identificado sólo las incluidas en la Tabla 70.



**Tabla 70: Faenas mineras y empresas asociadas que descargan sus efluentes directa o indirectamente al río Copiapó**

Industria minera	Comuna	Descarga	Cuerpo receptor	Caudal (L/s)
Ojos del Salado	Tierra Amarilla	Alcantarillado	Río Copiapó	0,4
ENAMI	Copiapó	Río - Suelo	Río Copiapó	4,2
Mantos de oro	Copiapó	Alcantarillado	Río Copiapó	Nd
Sali Hochschild S.A.	Copiapó	Río	Río Copiapó	0,14
Guggiana (cobre)	Copiapó	Río	Río Copiapó	Nd
Santa Anita (cobre)	Copiapó	Río	Río Copiapó	Nd

Fuente: CADE-IDEPE (2004c).

Nd: No disponible.

Con respecto a los impactos sobre la calidad de las aguas, no se encontró información en relación a la cuantificación de los efectos de la minería en término de concentraciones. No obstante, considerando sólo los factores incidentales antrópicos, los relativos al sector industrial minero mencionados por CADE-IDEPE (2004c) son los siguientes:

- Contaminación difusa por depósitos estériles.
- Aguas de drenaje de minas.
- Descarga de RILES mineros.

No es posible a través del estudio jerarquizar los factores incidentales ni los efectos espaciales que se puedan generar. Por otra parte, si se revisa la amplia gama y cantidad de literatura científica y de corte periodístico, existe muy poca mención al factor contaminación.

## 16.5 Cuenca del río Limarí

### 16.5.1 Uso del agua para procesos industriales

En la cuenca del río Limarí la principal actividad económica corresponde a la actividad agrícola (industrial-pisquera). El valle del Limarí presenta una superficie importante de viñas, orientada principalmente a la elaboración de pisco (CADE-IDEPE 2004d). Las actuales demandas de agua para uso industrial, principalmente para la producción de pisco, alcanzan aproximadamente a 0,047 m<sup>3</sup>/s (Tabla 71; Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007a).

**Tabla 71: Estimación actual y proyección futura de demanda de agua para uso industrial en la cuenca del río Limarí**

Tiempo	Caudal demandado (m <sup>3</sup> /s)
Actual	0,047
Futuro a 10 años	0,072
Futuro a 25 años	0,139

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007a).

Las principales plantas son Capel Serón, Río Hurtado (comuna de Río Hurtado), Capel Punitaqui (comuna Punitaqui), Capel Sotaqui (comuna de Ovalle), Control Sotaqui (comuna de Ovalle) y Control Monte Patria (comuna de Monte Patria). La planta más



importante corresponde a Capel Serón la cual se ubica a orillas del río Grande entre el embalse La Paloma y la confluencia con el río Hurtado (CADE-IDEPE 2004d).

La industria es y será un factor de presión prácticamente irrelevante sobre la demanda de recursos hídricos en la cuenca del Limarí. La demanda por nuevos caudales no superará el 1,5% del total demandado a futuro (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007a).

### **16.5.2 Descargas de efluentes industriales y efectos ambientales percibidos sobre los recursos hídricos**

Como se describió en la sección anterior, la industria del pisco es el único rubro industrial de relevancia en la cuenca. Los efluentes de las plantas vendimiadoras y destiladoras de pisco, tienen un importante componente orgánico. Al respecto, se identifican RILES propios del proceso productivo, conocidos como vinazas, alcoholazas y las aguas provenientes del proceso (lavados, refrigeración, entre otras). Las vinazas se caracterizan por su alta carga orgánica y sólidos suspendidos. El mayor caudal proviene de las aguas de proceso, que contienen alta carga orgánica y detergentes. Los antecedentes colectados en las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) señalan que los principales elementos contenidos en las vinazas corresponden a 22.000 mg/L de DBO<sub>5</sub>, y 105 mg/L de sólidos solubles, con pH normalmente en el rango ácido (3,1). Con respecto a los valores referidos a las alcoholazas, estos corresponden a 1.050 mg/L de DBO<sub>5</sub>, y 32,9 mg/L de sólidos solubles, con pH también en el rango ácido. Los antecedentes contenidos en el catastro de la SISS, señalan que los contenidos de los mismos elementos se ubican alrededor de 7.000 mg/L de DBO<sub>5</sub>, y 450 mg/L de sólidos solubles y pH ácido (3,8). Adicionalmente se informa de la presencia de sulfatos, con cerca de 281 mg/L (Universidad de Chile 2005).

El sector industrial pisquero ubicado en la cuenca del Río Limarí ha sido sancionado tanto por la Corema de la Región de Coquimbo (en 2007) como por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS (en 2008). Mientras que la primera sanción se debió a incumplimientos en el tratamiento de residuos industriales líquidos y a modificaciones de los sistemas autorizados, después de verificarse derrames que no fueron informados y que afectaron a recursos vegetacionales y de fauna, la segunda fue impuesta por no cumplir con la norma DS N° 90/00.

Pese a las sanciones antes mencionadas y a que los vertidos de estos efluentes a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, provocan efectos muy negativos en el medioambiente, en la cuenca los principales problemas de medioambientales, son atribuidos en parte a la regulación de los embalses, minería y fuentes naturales (CADE-IDEPE, 2004d).

## **16.6 Cuenca del río Maipo**

### **16.6.1 Uso del agua para procesos industriales**

En la cuenca del río Maipo es donde se encuentra el mayor número de industrias de nuestro país, concentrándose a su vez en la cuenca del río Mapocho en torno a Santiago, entre el estero Las Rosas y el Zanjón de la Aguada (CADE-IDEPE 2004e).



En la cuenca casi toda el agua que se destina a uso industrial proviene de los acuíferos, fundamentalmente del sector medio de la cuenca, en especial de la cuenca del Mapocho, cuya ocupación corresponde al 98,2% del total para uso industrial (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007b).

De acuerdo a la Tabla 72, los nuevos caudales demandados a 10 y 25 años por el sector industrial corresponden a 4,976 m<sup>3</sup>/s y 17,223 m<sup>3</sup>/s, respectivamente. Estos requerimientos explican cerca de 50% de los nuevos caudales totales de uso consuntivo demandados para ambos períodos en la cuenca (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007b). Por otra parte y tomando en cuenta de que la mayoría de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Mapocho se encuentran en lugares declarados como Zona de Restricción, y que la cuenca del río Maipo, en términos de aguas superficiales, se encuentra técnicamente agotada, la situación futura supone una mayor competencia entre los diferentes usos de agua. Adicionalmente, el impacto de la industria se manifiesta en forma directa e indirecta, ya que al incremento de la actividad industrial se deberían esperar nuevos flujos migratorios, que generarían nuevas y crecientes demandas por el recurso.

**Tabla 72: Estimación actual y proyección futura de demanda de agua para uso industrial en la cuenca del río Maipo**

Subcuenca	Caudal demandado (m <sup>3</sup> /s)		
	Actual	Futuro a 10 años	Futuro a 25 años
		m <sup>3</sup> /s	
Maipo Alto	0,000	0,000	0,000
Maipo Medio	0,173	0,256	0,460
Mapocho	10,232	15,117	27,147
Maipo Bajo	0,016	0,023	0,041
<b>Total</b>	<b>10,421</b>	<b>15,396</b>	<b>27,648</b>

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b).

### 16.6.2 Descargas de efluentes industriales y efectos ambientales percibidos sobre los recursos hídricos

La contaminación puntual producto de los residuos líquidos de los establecimientos industriales en la cuenca del río Maipo, ha generado un significativo deterioro de la calidad de las aguas de los cursos superficiales, haciéndola una de las cuencas más contaminadas por causa de fuentes puntuales. Esto es producto de la variada actividad industrial que presenta (concentra a su alrededor más del 50% de toda la industria nacional) y de los caudales que han sido vertidos durante años a estos cursos sin un tratamiento adecuado. En efecto, en variados cauces cercanos a industrias (tales como los esteros Lampa, Colina y Las Cruces), es posible observar los impactos negativos sobre el medio ambiente producto de la descarga directa de residuos líquidos que han recibido por más de una década, en su mayoría sin tratamiento. Al respecto, en el año 2000, un estudio realizado en el canal Las Cruces daba a conocer las graves alteraciones tanto de la calidad como de las características organolépticas de estas aguas, lo cual afectaba directamente el ecosistema acuático y la salud de la población que residía en las proximidades del estero (Matus y Cavieres 2000).

De acuerdo al informe publicado por la DGA (2004d), los parámetros más relevantes, relacionados con los efluentes industriales, son la conductividad eléctrica, oxígeno

disuelto, cloruros, hierro, manganeso y aluminio. Sin embargo, otros estudios, como los realizados por la Asociación Canalistas del Maipo<sup>54</sup> y Orrego (2002), agregan a la lista contaminantes como el arsénico, calcio, cobre, plomo, molibdeno, cadmio, cromo, zinc, níquel y cianuro, además de papel y detergentes.

El río Mapocho, segundo cauce en importancia dentro de la cuenca hidrográfica, constituye el principal receptor de residuos industriales líquidos. Pese a lo anteriormente expuesto, los eventos de contaminación más grave están actualmente en un proceso de mitigación, a partir de la puesta en vigencia de las normativas que regulan las descargas. No obstante, aún queda un importante porcentaje de industrias que no están dando cumplimiento a estas disposiciones (aproximadamente un 19% de las industrias catastradas por la SISS en la Región Metropolitana no cumplieron con las normas DS 90/00 y DS 46/02, durante 2008) (SISS 2008). Por otra parte, los tratamientos principalmente se abocan a tratamientos primarios, sin conseguir el abatimiento de contenidos químicos peligrosos. En este aspecto, aun considerando el 100% de efectividad en el cumplimiento de las normas y en el propio tratamiento del agua, queda un importante residuo que correspondiente a los lodos, que sigue generando riesgos de contaminación a las aguas, ya sea por arrastre superficial o por lixiviación hacia las napas.

Finalmente y con respecto a la contaminación de los recursos hídricos subterráneos localizados en la cuenca, Iriarte (2003) identificó, por intermedio de una carta geológica, la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago. En la Tabla 73 se muestran las potenciales fuentes de contaminación industrial y sus efectos asociados.

**Tabla 73: Fuentes potenciales de contaminación industrial y sus posibles efectos asociados sobre los acuíferos de la cuenca de Santiago**

Industria	Grupo contaminante	Sustancias contaminantes y posibles efectos asociados
Fábricas de cecinas, faenadoras de carnes de vacuno y planteles agroindustriales (cerdos y pollos)	Materia orgánica	La amenaza proviene de la descarga directa de material orgánico a cursos de agua superficial alterando la DBO <sub>5</sub> y DQO de estos, aumentando la carga orgánica y de gérmenes patógenos. Así mismo, el lavado de pisos y las labores de embarque y faenado de animales pueden contaminar el agua subterránea. En algunas ocasiones el vertido directo de residuos como sangre y vísceras a depósitos o efluentes no controlados implica una gran amenaza al acuífero, la que disminuye en plantas industriales con sistemas de depuración y tratamientos de aguas residuales.
Áreas y lugares puntuales de depósitos de combustibles	Hidrocarburos	Puede ocurrir contaminación directa a través de derrames accidentales o infiltración descuidada al suelo, o bien existir contaminación difusa proveniente del lavado de pisos y traspaso de combustible o paso de aceites. Dos sustancias son particularmente peligrosas: a) Hidrocarburos saturados livianos (combustibles), que en contacto con agua quedan en fase y flotan; b) Hidrocarburos no saturados más pesados que el agua, como los detergentes y solventes (DNAPL), que se propagan muy rápido, por la base del acuífero.

<sup>54</sup> Estudio presentado a parlamentarios el 19 de diciembre de 2007. No publicado.



Industria	Grupo contaminante	Sustancias contaminantes y posibles efectos asociados
Industrias químicas y/o metalúrgicas en general	Sustancias inorgánicas y otras	La amenaza proviene, principalmente, de procesos que usan metales pesados e hidrocarburos polimerizados (plásticos). Puede ocurrir contaminación difusa proveniente de operaciones de traspaso de materia prima. La amenaza es mayor en caso de incendio, debido a la infiltración de sustancias nocivas producidas por combustión incompleta escurrida en agua usada en su combate.

Fuente: Iriarte (2003).

## 16.7 Cuenca del río Maule

### 16.7.1 Uso del agua para procesos industriales

En la cuenca del río Maule funciona una gran cantidad de industrias, las cuales se concentran principalmente en las ciudades de Talca, Linares, Constitución y Parral. La actividad industrial está fundamentalmente ligada a la industria manufacturera que se caracteriza prioritariamente por su papel transformador de la producción agropecuaria. Otro grupo importante presente en la cuenca corresponde a las empresas forestales, donde incluyen los rubros aserradero, celulosa y fábrica de cartulinas, que se localizan principalmente en el área costera de la comuna de Yervas Buenas (CADE-IDEPE 2004f).

Dentro del elevado número de industrias destacan la planta de IANSA en Linares, la papelera CMPC, Planta Maule ubicada en Hierbas Buenas y la celulosa Arauco y Constitución S.A. que se abastece del río Maule cerca de la desembocadura. Al respecto, la producción anual de Celulosa Arauco y Constitución S.A. Planta Constitución es de 355.000 ton/año de Pulpa UKP (CORMA 2009), lo que implica una demanda aproximada<sup>55</sup> de agua de 3.254.166 m<sup>3</sup>/mes. Con una producción de 180.000 ton/año, la demanda hídrica por parte de la papelera Cartulinas CMPC Planta Maule<sup>2</sup> bordea los 736.363 m<sup>3</sup>/mes.

El resto de las industrias satisfacen su demanda de agua desde la subcuenca de los ríos Claro-Talca y Loncomilla, específicamente en torno al estero Piduco cerca de Talca y río Putagán cerca de Linares (CADE-IDEPE 2004f). En la Tabla 74 se muestra la estimación actual y proyección futura de demanda de agua para uso industrial en la cuenca del río Maule.

Si bien es posible otorgar derechos de aguas superficiales permanentes y eventuales (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007b), de acuerdo a la información disponible y al alcance de este estudio, no es posible determinar qué sectores de la cuenca pueden ser críticos en relación a las demandas industriales futuras. Sin embargo, la industria no sería el factor de presión más relevante ya que sólo explicaría el 13% y el 30% de los nuevos caudales totales demandados a 10 y 25 años, respectivamente.

<sup>55</sup> Cálculo hecho según tabla de equivalencias entre caudales de agua y uso de CONAMA (2005).

**Tabla 74: Estimación actual y proyección futura de demanda de agua para uso industrial en la cuenca del río Maule**

Subcuenca	Caudal demandado (m <sup>3</sup> /s)		
	Actual	Futuro a 10 años	Futuro a 25 años
Maule Alto	0,000	0,000	0,000
Maule Medio	0,315	0,431	0,690
Perquillauquén	0,004	0,006	0,010
Loncomilla	1,377	1,883	3,011
Maule Bajo	0,875	1,197	1,915
<b>Total</b>	<b>2,571</b>	<b>3,517</b>	<b>5,626</b>

Fuente: Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b).

### 16.7.2 Descargas de efluentes industriales y efectos ambientales percibidos sobre los recursos hídricos

La descarga de efluentes industriales, principalmente en los cauces cercanos a los centros urbanos, ha traído una gran cantidad de efectos negativos al medioambiente. Al respecto, uno de los mejores ejemplos es lo que ocurre en la subcuenca del río Claro (tributario del río Maule), el cual constituye una barrera natural muy cercana al centro de la ciudad de Talca. Esta subcuenca cuenta con diversos afluentes menores, que están estrechamente ligados a las actividades de la ciudad de Talca, quedando algunos completamente inmersos en ella. Este es el caso de los esteros Baeza y Piduco. En su recorrido por la ciudad, el estero Piduco se convierte en un hito urbano relevante, ya que afecta la relación norte-sur de Talca (MINVU 1999), influenciando el sentido de la expansión urbana. La calidad del agua del estero Piduco ha resultado alterada debido a esta fuerte conexión con la zona urbana. De hecho, la red de alcantarillado de la ciudad, que capta y canaliza la escorrentía urbana e industrial, fue vertida directamente al estero Piduco hasta el año 1993 (ESSAM 1993).

De acuerdo a los antecedentes recopilados por Habit (2003), uno de los principales contaminantes del estero Piduco son los metales pesados, los cuales estarían asociados, en parte, a las descargas industriales. Las altas concentraciones de metales pesados en los sedimentos se explicarían debido al pH básico de las aguas, lo que hace precipitar la mayoría de los metales a la forma de hidróxidos (Farías y Morales 2001). Diversos procesos industriales como las curtiembres, de las cuales las principales se encuentran en esta región, incluyen el cromo y lo eliminan a través de sus RILES (Tapia 1997).

Otro caso de contaminación del medioambiente acuático por metales pesados corresponde al del estuario localizado en la desembocadura del río Maule. Al respecto, Tapia *et al.* (2009) estudiaron el nivel de contaminación del estuario utilizando especies de peces bioindicadores de contaminación, midiendo las concentraciones de cobre, cromo y plomo en los tejidos musculares de los peces. Basado en las muestras analizadas, las concentraciones de cobre y cromo estuvieron bajo los valores legales propuestos por la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y Agencia de Protección Ambiental (EPA), sin embargo, las altas concentraciones de plomo excedieron los límites permitidos.

A pesar de que las conclusiones del informe de la CADE-IDEPE (2004f), no distinguen a las industrias como la principal presión sobre la calidad de las aguas, los reportes antes descritos revelan efectos ambientales debidos a la presencia de contaminantes tóxicos y persistentes en los efluentes industriales. Por lo anterior, resulta de suma importancia



valorar la participación real, con estudios fidedignos, de cada componente antrópico y natural con el objeto de poder llevar a cabo una política ambiental seria y eficiente dentro de la cuenca.

## 16.8 Cuenca del río Biobío

### 16.8.1 Uso del agua para procesos industriales

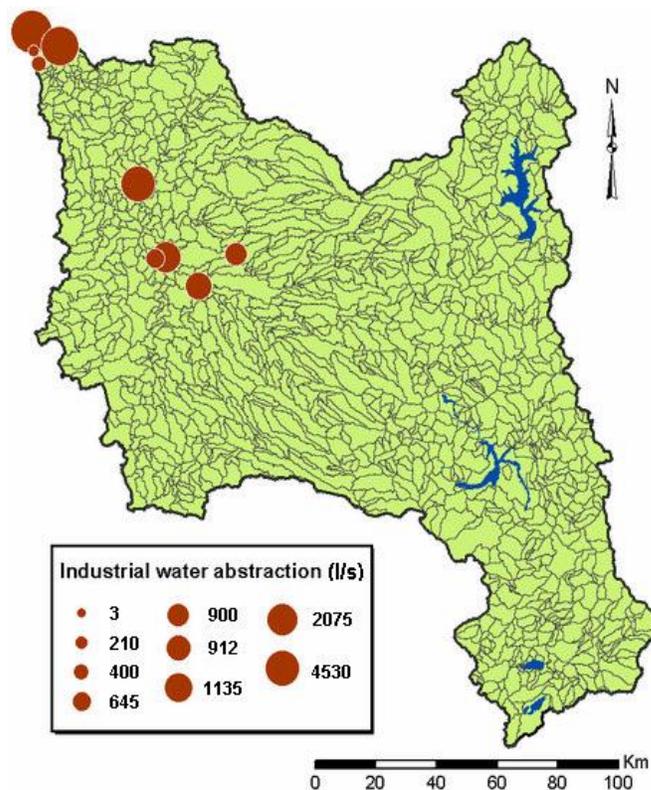
El uso industrial es uno de los sectores importantes en el uso del agua. De los caudales del río Biobío captados por el sector industrial, cerca del 95% se consumen en la zona ubicada entre la cordillera de la Costa y el área costera, y el 5% restante se consume en el valle central o depresión intermedia (Proyecto TWINBAS, D1.2 2005). Gran parte de la industria capta aguas del sistema fluvial Biobío (ya sea del curso principal o de sus tributarios) a través de captaciones propias, sean éstas superficiales o subterráneas. Al respecto, la industria de la celulosa y papel más la industria petroquímica representan más del 70% del total de la demanda de agua. En la subcuenca, entre los ríos Malleco y Vergara (ciudad de Mininco), la única industria de importancia corresponde a la Celulosa del Pacífico, la cual demanda cerca de 1.800.000 m<sup>3</sup>/mes desde el río Mininco, lo que equivale aproximadamente a 694 L/s. Esta agua es descargada en el río Biobío en la subcuenca entre los ríos Vergara y Laja. La industria que demanda la mayor cantidad de agua corresponde a la Compañía Manufacturera de Papeles S.A. con un caudal demandando neto de 3.970.000 m<sup>3</sup>/mes lo cual es equivalente a 1.530 L/s. El total demandado dentro de esta subcuenca alcanza los 10.602.650 m<sup>3</sup>/mes (4.091 L/s). La demanda de agua en la parte baja del río Biobío viene, principalmente, desde la industria petroquímica (8.160 L/s) y desde la industria papelería (4.556 L/s). La demanda aproximada de la subcuenca alcanza los 16.866 L/s (Proyecto TWINBAS, D1.2 2005). La localización de los puntos de extracción de agua por parte del sector industrial se observan en la Figura 12.

Por otra parte, la actual situación legislativa deja bastantes espacios ventajosos al sector industrial respecto al uso de este recurso. Las plantas de celulosa en la cuenca del río Biobío, tienen un consumo de agua que varían entre 59 m<sup>3</sup>/ton a 127 m<sup>3</sup>/ton de producto (Valdovinos y Parra 2006), lo que estaría por sobre el consumo promedio nacional (40m<sup>3</sup>/ton de producto) indicado por Peña *et al.* 2004. Si se compara con los límites impuestos en el hemisferio norte a este mismo tipo de unidades productivas, estos varían entre 50 m<sup>3</sup>/ton a 70 m<sup>3</sup>/ton de producto (Valdovinos y Parra 2006).

A pesar de que los procesos industriales realizados en la cuenca del río Biobío son altamente demandantes de recursos hídricos, los principales efectos ambientales producidos por disminuciones y aumentos de caudales son asociados a la regulación de los embalses de las grandes centrales hidroeléctricas<sup>56</sup>.

<sup>56</sup> Dr. Oscar Parra B. Director del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. Entrevista realizada el 19 de mayo de 2009.

**Figura 12: Extracción de agua para actividades industriales, en la cuenca del río Biobío**



Fuente: Proyecto TWINBAS, WP5 (2007).

### 16.8.2 Descargas de efluentes industriales y efectos ambientales percibidos sobre los recursos hídricos

El aporte de contaminante industrial se estima en cerca de 10 veces el aporte de tipo civil o urbano (en términos de la DQO) y sus efectos ambientales todavía no están suficientemente evaluados. La industria es responsable de las emisiones de contaminantes tóxicos, persistentes y difícilmente removibles como los microcontaminantes orgánicos (organoclorados, entre otros). Cabe destacar que si consideramos el límite físico de la cuenca solamente están contenidas en esta área el 35% de las industrias de la región dado que sólo el 50% de la comuna de Concepción y sólo un 25% de la comuna de Talcahuano están contenidas en la cuenca (Valdovinos y Parra 2006). En la Tabla 75, Tabla 76 y Figura 13 se presenta las principales industrias que descargan sus efluentes en la cuenca del río Biobío, su producción anual y localización de los puntos principales de descarga respectivamente.

**Tabla 75: Industrias que descargan sus efluentes al sistema río Biobío**

Nombre	Cuerpo de agua receptor	Localización del efluente	Descarga evacuada
Celulosa Pacífico	Río Biobío	Negrete	40 m <sup>3</sup> /ton pulpa
Celulosa Laja	Río Biobío	Laja	92 m <sup>3</sup> /ton pulpa
Inforsa	Río Vergara	Nacimiento	45 m <sup>3</sup> /ton pulpa
Papeles Bío Bío	Río Biobío	San Pedro de la Paz	36 m <sup>3</sup> /ton pulpa



Nombre	Cuerpo de agua receptor	Localización del efluente	Descarga evacuada
Celulosa Santa Fe	Río Biobío	Nacimiento	53 m <sup>3</sup> /ton pulpa
Petrox	Río Biobío	Desembocadura río Biobío	13 m <sup>3</sup> /ton petróleo crudo
Iansa	Río Quilpué	Los Ángeles	74 m <sup>3</sup> /ton azúcar

Fuente: Proyecto TWINBAS, WP2 (2007).

**Tabla 76: Capacidad de producción de la industria papelera y de celulosa en la cuenca del río Biobío**

Nombre	Compañía <sup>a</sup>	Tipo <sup>a</sup>	Producción actual (ton/año) <sup>a</sup>	Producción futura (ton/año) <sup>a</sup>	Tratamiento actual de aguas residuales <sup>b</sup>
Celulosa Laja	CMPC	BSKP-UKP	350.000	439.000	Secundaria
Celulosa Pacífico	CMPC	BSKP	480.000	489.000	Secundaria
Celulosa Santa Fe	CMPC	BEKP	360.000	1.140.000	Secundaria
Inforsa	CMPC	Mecánica	190.000	190.000	Secundaria
Papeles Bío Bío	Nörske Skog	Mecánica	100.000	100.000	

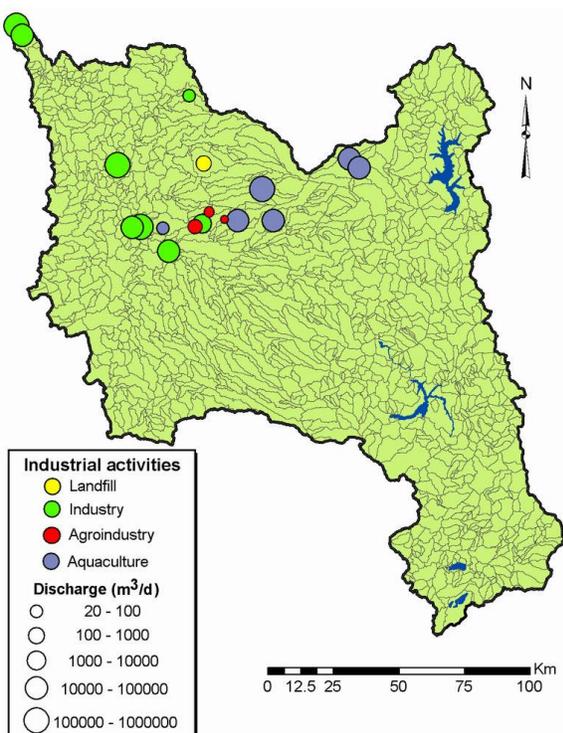
BSKP: Kraft blanqueada de fibra larga de *Pinus radiata*;

UKP: Kraft blanqueada de fibra larga

BEKP: Kraft blanqueada de fibra corta de *Eucaliptus*.

Fuente: <sup>a</sup> Proyecto TWINBAS, WP2 (2007). <sup>b</sup> Información propia de la empresa.

**Figura 13: Localización de los puntos de descarga de efluentes industriales en la cuenca del río Biobío**



Fuente: Proyecto TWINBAS, WP5 (2007).

Como se ha descrito en las secciones anteriores, cuatro son las industrias de celulosa y papel, que extraen y descargan sus efluentes en la parte media del río Biobío, convirtiéndose en las principales fuentes de estrés de esta zona. Como consecuencia,

dos tipos de impactos ambientales son percibidos: degradación del medio ambiente y agotamiento de los recursos naturales (Proyecto TWINBAS, WP2. 2007). El perfil de las emisiones al medio hídrico depende principalmente del tipo de proceso productivo y nivel tecnológico utilizado, existiendo varios compuestos aún no identificados (Hewitt *et al.* 2006). En la cuenca del río Biobío, los efluentes generados en los sistemas de producción utilizan principalmente el blanqueo o pulpaje kraft (Tabla 76), el cual produce una amplia variedad de compuestos orgánicos clorados persistentes (Altesor *et al.* 2008).

Numerosos estudios han relacionado la exposición a efluentes de celulosa con efectos tóxicos en organismos acuáticos (Boer y Brinkman 1994; De Matteis 1994; Karels y Oikari 2000; Karels *et al.* 2001; Barra *et al.* 2005).

Respecto a los impactos percibidos en la cuenca del río Biobío, la descarga de los efluentes de plantas de celulosa, en el sector medio y bajo de la hoya, ha generado en la biota acuática una gama amplia de efectos en diferentes niveles de organización jerárquica, desde molecular (Orrego *et al.* 2005) hasta individual (Orrego *et al.* 2006; Orrego *et al.* 2009) y de comunidad (Habit *et al.* 2006).

Pese a lo anteriormente expuesto, en la cuenca del Biobío no se han documentado 'catástrofes' medioambientales como consecuencia de las descargas de efluentes desde las plantas de celulosa y papel como se describen en las conclusiones de este capítulo.

## 16.9 Cuenca del río Baker

### 16.9.1 Uso del agua para procesos industriales

El uso del agua para procesos industriales en la cuenca del río Baker es muy bajo. Al respecto, la SISS tiene información de una descarga de RILES dentro de la cuenca, la cual corresponde la Planta de Tratamientos de Productos del Mar. Esta planta de tratamientos descarga sus residuos directamente hacia el río Cochrane. Como consecuencia, la actividad industrial en la cuenca es casi inexistente, y en el corto plazo no se esperan mayores cambios medioambientales que puedan afectar la calidad las aguas (Proyecto TWINLATIN, WP6 2009).

Por otra parte, si se considera a la explotación minera como actividad industrial, ésta se ubica en el primer lugar en relación a los sectores económicos demandantes de agua de uso consuntivo (Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007b). No obstante, el aumento de los requerimientos es prácticamente irrelevante a 10 y 25 años (Tabla 77).

**Tabla 77: Estimación actual y proyección futura de demanda de agua para uso minero en la cuenca del río Baker**

Subcuenca	Caudal demandado (m <sup>3</sup> /s)		
	Actual	Futuro a 10 años	Futuro a 25 años
Río Baker	19,915	19,960	19,981

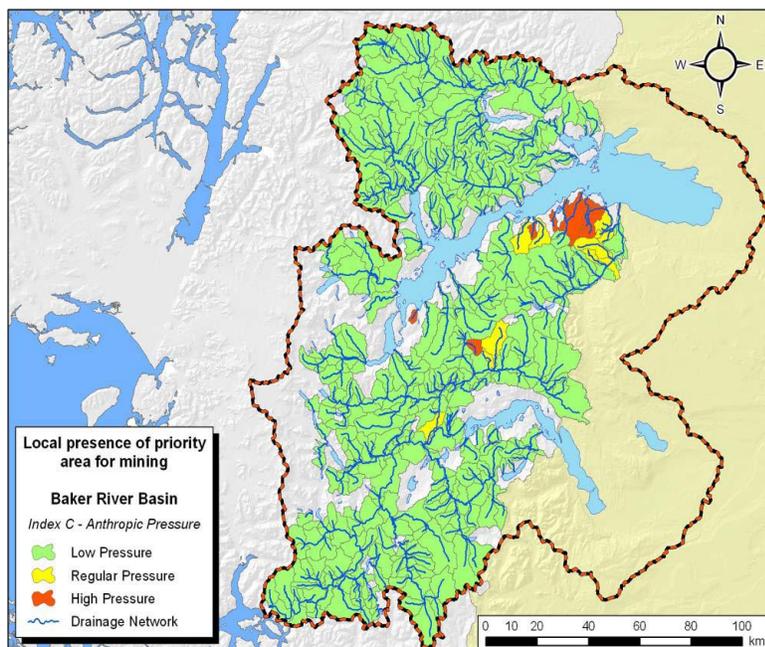
Fuente. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. (2007b).



## 16.9.2 Descargas de efluentes industriales y efectos ambientales percibidos sobre los recursos hídricos

La actividad minera se concentra en la ribera sureste del lago General Carrera (Figura 4), donde se ubican las minas Cerro Bayo y Fachinal, cuyas faenas se encuentran temporalmente paralizadas. Si bien no se cuenta con datos de contaminantes difusos asociados directamente a esta actividad, el Proyecto TWINLATIN, WP6 (2009) señala que podrían estar afectando la calidad de agua del río Avilés y el estero El Baño, ambos afluentes del lago General Carrera.

**Figura 14: Índice de presión antrópica en la cuenca del río Baker, debido a la minería**



Fuente: Proyecto TWINLATIN, WP6 (2009).

## 16.10 Conclusiones

### 16.10.1 Uso del agua para procesos industriales

De manera general, la demanda industrial en las cuencas en estudio está vinculada principalmente a la producción de celulosa y papel (cuencas de los ríos Biobío, Maule y Maipo), productos agroindustriales (cuencas de los ríos Maule, Limarí y Maipo), derivados del petróleo (río Biobío) y extracción de minerales (cuencas de los ríos Loa, Copiapó, Maipo y Baker).

Con respecto a la minería, ésta representa aproximadamente el 44% ( $61,343 \text{ m}^3/\text{s}$ ) del total de recursos hídricos demandado en las ocho cuencas seleccionadas. La extracción de agua se localiza casi en su totalidad en la cuenca del río Baker (74% de la demanda hídrica del sector). Pese a que en la cuenca del río Loa los requerimientos de agua representan el 20% del total, su importancia es especialmente relevante debido a que se ubica en una zona del país en que el recurso es más escaso. Desde 1980, el consumo neto de agua se ha incrementado entre un 30% y un 80%, a pesar de que la producción



alcanzó un valor del orden de tres veces al inicial. Considerando la escasez de los recursos hídricos en las zonas donde se localiza la actividad minera (sin incluir la actividad en cuenca del río Baker), la demanda que no pudo ser abastecida por los mejoramientos de eficiencia se debió abastecer con recursos hídricos subterráneos. Lo anterior ha significado, en paralelo al desarrollo minero, el desarrollo de una intensa y costosa actividad de exploración hidrogeológica por parte de las empresas, que se refleja en la solicitud de numerosos derechos de aprovechamiento de agua que suman un caudal de aproximadamente 10 m<sup>3</sup>/s hasta el año 2002, de acuerdo a lo planteado en los estudios de Peña *et al.* de 2004).

La industria de la celulosa y papel representa cerca del 14% (8,662 m<sup>3</sup>/s) del total demandado, realidad que la transforma en el segundo sector más relevante después de la minería, en todas las cuencas estudiadas. Al respecto y a nivel nacional, entre 1996 y 2002, la industria de la celulosa ha aumentado en más de cuatro veces la cantidad total de derechos de aprovechamiento de recursos hídricos, no obstante, existe información que indica que la eficiencia de uso de agua en esta industria ha aumentado paulatinamente. En efecto, en la actualidad, se consumen sólo 40 m<sup>3</sup> de agua por tonelada de producto, mientras que en la década de 1980 el consumo era de alrededor de 130 m<sup>3</sup>/ton.

#### **16.10.2 Descargas de efluentes industriales y efectos ambientales percibidos sobre los recursos hídricos**

Con frecuencia se tiende a asociar el desarrollo industrial con un mayor deterioro del medio ambiente. Si bien es cierto que en el último tiempo se ha comprobado la responsabilidad del sector industrial en eventos graves de contaminación y daño medioambiental, también se ha observado un aumento sustantivo de la inversión en descontaminación y una mayor preocupación por el diseño e implementación de políticas orientadas al control de los impactos ambientales.

A pesar de que la (Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en su último informe de 2005 correspondiente a la evaluación del desempeño ambiental de Chile, recomendó "aumentar el tratamiento eficaz de *efluentes industriales*, y fortalecer las capacidades de inspección y cumplimiento de las normas relacionadas" y "hacer más énfasis en el manejo del agua para la protección de los *ecosistemas acuáticos*", el esfuerzo realizado por el sector industrial se ha materializado en un aumento en el nivel de cumplimiento de la normativa vigente (DS 90/00 y DS 46/02) el cual llegó, en 2008, al 86,5% de un total de 644 establecimientos catastrados. Según la Superintendente de Servicios Sanitarios, Magaly Espinosa<sup>57</sup>, esta evolución se explicó por la fiscalización de la SISS y las medidas que están implementando los industriales, tanto en la gestión de sus residuos líquidos como en la inversión en sistemas de tratamiento para cumplir las normas. Por otra parte, Peña *et al.* (2004) destacan que en esta reacción juega un rol significativo el propio proceso de globalización que permite la transferencia de experiencias y tecnologías de países más desarrollados y tiende hacia el establecimiento de estándares internacionales. Lo anterior ha determinado que si se compararan los niveles de contaminación hídrica de la década de 1980 con los actuales, la situación presente probablemente sea más favorable.

<sup>57</sup> Información publicada en revista Ecoamérica, disponible en: [www.ecosistemas.cl/1776/fo-article-85555.pdf](http://www.ecosistemas.cl/1776/fo-article-85555.pdf) leído el 6 de marzo de 2009



De cualquier modo, la condición anteriormente descrita tendería a estados de mayor calidad ambiental, una vez que se tengan todos los instrumentos de fiscalización y las normas, sobre todos los aspectos relacionados. Por lo tanto, en términos de proyecciones futuras, la situación debe tender a la solución de parte importante de los problemas ambientales relacionados con la contaminación.

### **Dos casos especiales.**

A pesar de no ser parte de las cuencas piloto que se están estudiando, consideramos importante incluir dos episodios de contaminación emblemáticos, sucedidos en los últimos años en el país, que han puesto de manifiesto los efectos de los desechos de la industria forestal pueden generar sobre el medioambiente cuando no son tratados de manera correcta:

*Episodio de contaminación del río Mataquito.* A pesar de que el primer caso de mortandad de peces atribuido a la planta de celulosa Licancel de la empresa Forestal Celco S.A. fue documentado en el año 1999, entre el 4 y 5 de junio de 2007 se constituyó el daño ambiental más grave producto de la descarga de aproximadamente 20.000 m<sup>3</sup> de RILES. Según el informe final "Evaluación ambiental en el río Mataquito" realizado por la Universidad Católica de Temuco la mortalidad de peces encontrados en el río habría sido causada por una disminución del oxígeno disuelto de las aguas, debido a la conjunción sinérgica de factores: a) descarga de 19.375 m<sup>3</sup> de RILES de la laguna de tratamiento con una alta carga orgánica; b) toxicidad aguda del efluente probablemente asociada a las concentraciones de ácidos resínicos; c) dinámica física del estuario del río Mataquito que se encontraba en periodo de mareas de sicigias, las que se observaron entre el día 1 y 8 de junio; y d) bajo caudal del río (43 m<sup>3</sup>/s) (Universidad Católica de Temuco 2008).

*Episodio de Contaminación en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, río Cruces.* El año 2004, se produjo una muerte masiva de cisnes de cuello negro en el en el Santuario de la Naturaleza del río Cruces. Según el informe final "Estudio sobre el origen sobre mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, en la provincia de Valdivia" realizado por la Universidad Austral, las actividades de la planta de celulosa Valdivia de Celco S.A., incidieron de forma significativa en los cambios ambientales que ocurrieron en el humedal del río Cruces. Al respecto, el documento indicó que las descargas de la planta de celulosa durante la etapa de operación, superaron los límites de parámetros como pH, DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno y fósforo total, metales pesados (hierro, manganeso, zinc y cobre), entre otros, lo cual finalmente afectó la biota acuática (Universidad Austral de Chile y DGA 2000).

Ambos episodios ilustran lo perjudicial que pueden ser los contaminantes de los efluentes provenientes de la industria de la celulosa para los ecosistemas acuáticos. Es por esta razón que en función de su toxicidad potencial y de los elevados volúmenes de descarga de producto, los efluentes de las plantas de celulosa requieren un tratamiento previo a su descarga. La implementación de sistemas de tratamiento terciario, ayudaría a disminuir el contenido de nutrientes, evitando así, procesos de eutrofización (enriquecimiento artificial de nitrógeno y fósforo).



## **17 INDICADORES DE SUSTENTABILIDAD DEL USO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

### **17.1 Introducción**

En las últimas décadas, diversos autores y organismos científicos y técnicos han trabajado en la búsqueda de instrumentos que permitan evaluar de manera comprensiva el manejo de los recursos naturales. En este contexto, la orientación actual hacia una gestión sustentable de los recursos hídricos hace necesario el monitoreo de las políticas aplicadas al sector de manera de evaluar su desempeño y proponer correcciones y sugerencias de manera más coherente y sistemática.

El uso de sistemas que permitan evaluar y comparar escenarios dinámicos, optimizar funciones de disponibilidad y demanda para lograr la conformación de diversas estrategias y metas, es una necesidad de toda gestión. Es en éste contexto donde aparecen los indicadores como herramientas claves en la evaluación de estrategias que apunten hacia el desarrollo sostenible.

Con la Conferencia Mundial de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, realizada en Río de Janeiro, Brasil, en 1992 (Goodland *et al.* 1992) y la consecuente creación de la Comisión sobre Desarrollo Sostenible (CDS) de la Organización de las Naciones Unidas, se pone en discusión el uso de indicadores como determinantes para las políticas de manejo integrado de recursos hídricos en cada país. Como fruto de este trabajo se elaboró una lista de 134 indicadores junto con una metodología para su aplicación a nivel mundial.

Posteriormente, se han observado diversos esfuerzos por desarrollar y evaluar la implementación de indicadores en la Unión Europea y en países de América. Según señala Quiroga (2001), es importante mantener presente que los indicadores tanto ambientales como de desarrollo sostenible, constituyen un tema que aún se encuentra en proceso de desarrollo en el mundo, en el cual algunos países han avanzado más que otros, en diversos aspectos. En lo relacionado con indicadores para el uso sostenible de recursos hídricos, son pocos los datos e información detallada existentes. En este sentido, el desarrollo de estos indicadores y su aplicación es trascendental para la implementación efectiva de una estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

### **17.2 Importancia de los indicadores**

La elaboración de indicadores como parte de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, considerando sus componentes ambientales, económicos, sociales e institucionales, constituye una herramienta formal y sintetizada que nos permitirá colaborar de manera directa y determinante en el proceso de toma de decisiones y de monitoreo continuo para el mejoramiento de los procesos de formulación de políticas. De acuerdo con Segnestam (2000), los indicadores representan, además, importantes herramientas para la comunicación de información científica y técnica ya que pueden facilitar el acceso a la misma por parte diferentes grupos de usuarios permitiendo transformar la información



en acción; también serán útiles para comparar situaciones en diferentes regiones o en diferentes períodos.

### **17.3 Definición**

Hay definiciones expuestas por diferentes organismos e instituciones que permiten definir adecuadamente un Indicador de Desarrollo Sostenible del Recurso Hídrico (IDSRH), pero primero es necesario definir lo que se entenderá en este trabajo como indicador.

Según la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC 2008), "los indicadores son variables numéricas, nominales o escalares que nos ayudan a comprender un determinado sistema o fenómeno. Convierten datos complejos en información útil y accesible para distintos públicos que en la mayoría de los casos corresponden a responsables de tomas de decisión (gestores, clase política, etc.), usuarios del agua, investigadores, profesionales del sector y a la sociedad en general".

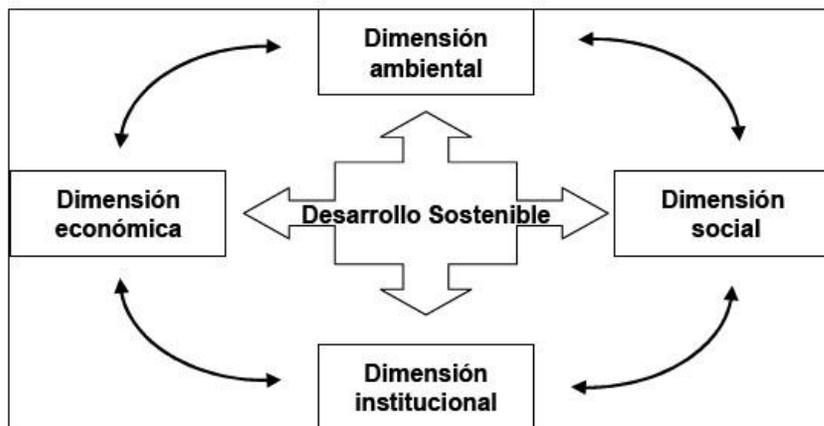
Para Quiroga (2001) "un indicador es más que una estadística, es un variable que en función del valor que asume en determinado momento, despliega significados que no son aparentes inmediatamente, y que los usuarios decodificarán más allá de lo que muestran directamente, porque existe un constructor cultural y de significado social que se asocia al mismo". También señala que "es un signo, típicamente medible, que puede reflejar una característica cuantitativa o cualitativa, y que es importante para hacer juicios sobre condiciones de sistema actual, pasado o hacia el futuro. La formación de un juicio o decisión se facilita comparando las condiciones existentes con un estándar o meta existente".

Entonces, se entenderá que un indicador será una herramienta válida para planificar, organizar, dirigir y controlar estrategias de manejo adecuadas para la sociedad siendo una herramienta de peso para la administración.

### **17.4 Indicadores de Desarrollo Sostenible**

Los Indicadores de Desarrollo Sostenible (IDS) pueden interpretarse como un sistema de señales que facilitan evaluar el progreso de los países y regiones hacia el desarrollo sostenible, y particularmente para el caso de este estudio, el desarrollo sostenible del recurso hídrico, que se enmarca en el ámbito social, económico, ambiental e institucional (Figura 15).

**Figura 15: Esquema de desarrollo sostenible según la CDS de las Naciones Unidas**



Fuente: CDS (2001).

Los indicadores de desarrollo sostenible nos permitirán apoyar el trabajo de diseño y evaluación de la política pública, fortalecer las decisiones informadas, así como la participación ciudadana, para impulsar a nuestro país hacia el desarrollo sostenible.

El IDSRH es entonces una variable cuyo valor tomado en ese momento nos reflejará una situación comparable y posible de controlar para organizar políticas de manejo adecuadas a futuro considerando la participación de los diferentes sectores económicos, sociales, ambientales e institucionales, así como también evaluar el desempeño de situaciones del pasado, en un marco de manejo adecuado del recurso hídrico.

## **17.5 Experiencias en otros países**

Se han observado bastantes experiencias en lo relacionado con el uso de indicadores de uso sostenible en la Unión Europea y en América, pero en relación al uso sostenible para los recursos hídricos, los avances han sido más generalizados sin contar con acciones específicas sobre cuencas hidrográficas salvo algunos casos como en España con lo propuesto por la Universidad Politécnica de Catalunya, que han desarrollado Indicadores de Sostenibilidad para la Gestión Integral del Agua a nivel de cuenca (Pires 2007a).

### **17.5.1 Experiencias internacionales en el desarrollo de Indicadores de Desarrollo Sustentable**

#### **17.5.1.1 Canadá**

Canadá muestra un notable avance en el tema de indicadores ambientales. "Sin lugar a dudas, Canadá es un país líder en el desarrollo e implementación de indicadores ambientales, y también en la provisión oportuna de información ambiental para la toma de decisiones" (Quiroga 2001). Los indicadores de Canadá se han basado en 17 temas considerados fundamentales, dentro de los cuales el principal interés de desarrollo se encuentra ligado al medio ambiente.



El Canada's National Environmental Indicator Series 2003 (Environment Canada 2005) describe las áreas de Sistemas de Soporte Ecológico, Salud y Bienestar Humano, Sostenibilidad de Recursos Naturales y Actividades Humanas.

Indicadores relacionados directamente con el recurso hídrico se encuentran en el área de Salud y Bienestar Humano, donde aparece "Uso diario de agua municipal", "Población municipal con y sin acceso a tratamientos de agua", "Nivel de tratamiento de agua servidas municipales", "Total estimado de carga de Fósforo en aguas". También se observan en el área de Sostenibilidad de Recursos Naturales pero se relacionan con los bosques y la agricultura.

### **17.5.1.2 Nueva Zelandia**

Actualmente cuenta con un sistema avanzado de Indicadores de Desempeño Ambiental (EPIs), desarrollado principalmente por el Ministerio del Medio Ambiente.

En 1995 el Ministerio del Ambiente de Nueva Zelanda presenta la estrategia ambiental para el 2010, donde se describen los aspectos básicos para el desarrollo de indicadores ambientales, especificando la importancia de las estadísticas ambientales, las actividades económicas y su relación con el medio ambiente. Se destaca la importancia de una base de datos con indicadores ambientales para el desarrollo del país.

Dentro de las áreas tratadas en Nueva Zelandia se describen, dentro del tema Agua Fresca, cinco indicadores que dan signos de la calidad de los ríos, calidad de los lagos, calidad de aguas subterráneas, calidad del agua para uso recreacional y demanda de agua fresca. Cada uno de estos indicadores compuestos a su vez por una serie de variables que los constituyen.

### **17.5.1.3 Reino Unido**

Actualmente el Department of Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), dependiente del gobierno de Reino Unido (DEFRA 2009), se preocupa de asuntos relacionados con el desarrollo sustentable, donde se observa trabajo sobre indicadores de sostenibilidad. Se detallan cuatro áreas o temas de prioridad dentro de las que se encuentran Producción y Consumo Sustentable, Protección de los Recursos Naturales y Mejoramiento del Ambiente, Creación de Comunidades Sustentables y un Mundo Más Justo, y una agrupación de Otros Indicadores. Según Quiroga (2001), se han generado 150 indicadores centrales que han sido revisados con el fin de medir el progreso.

### **17.5.1.4 Estados Unidos de América**

Actualmente existe el Bureau of Oceans and International Environmental and Scientific Affairs (OES) donde se tratan todos los temas relacionados con el desarrollo sustentable del país. Trabaja bilateralmente y multilateralmente con la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. En este caso se ha creado un grupo de 40 indicadores compuestos por 13 económicos, 16 ambientales y 11 sociales. El marco ordenador utilizado en este país es una idea similar a lo que corresponde el modelo de "Presión, Estado y Respuesta". La diferencia radica en que junto con esto existe un

sistema de separación de categorías de estado en activos y pasivos de largo plazo y resultados corrientes (U.S. Department of State 2009).

#### **17.5.1.5 España**

Según Quiroga (2001), España comienza su desarrollo de indicadores con una publicación en 1996 con el objetivo de crear un sistema de indicadores ambientales como herramienta para la toma de decisiones en materia de medio ambiente. Estos indicadores se basaron en el modelo de Presión, Estado y Respuesta<sup>58</sup>. El Ministerio del Ambiente de España posee un área destinada exclusivamente al tema agua, paralelamente el Observatorio de la Sostenibilidad en España, OSE (OSE 2008) y el Instituto Nacional de Estadística (INE España), han colaborado en el tema de indicadores de desarrollo sostenible.

#### **17.5.1.6 Suecia**

En 1968 se establece el Consejo Asesor del Medio Ambiente (IISD 2009), con el fin de asesorar a Suecia en temas medio ambientales. Es este mismo organismo que propone la creación de 12 Indicadores Verdes Titulares (Green Headline Indicators), relacionados a 12 áreas para monitorear el progreso a una sociedad ecológicamente sostenible. En 1999 el gobierno incluye estos indicadores como parte de un proyecto de ley para el presupuesto gubernamental entendiendo la importancia que tienen como instrumentos para la toma de decisiones.

### **17.5.2 Situación en América Latina**

#### **17.5.2.1 México**

Junto con la creación de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (1994) en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología, parte el desarrollo de indicadores de sostenibilidad, que han seguido el esquema de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) de Presión, Estado y Respuesta, tratando de desarrollar un sistema de indicadores para evaluar el desempeño de la política ambiental. México ha elaborado 113 de los 134 indicadores propuestos por CDS. Del total, 97 fueron elaborados de acuerdo a las hojas metodológicas propuestas y 16 son de carácter alternativo (Quiroga 2001). Actualmente se cuenta con el Sistema Nacional de Indicadores Ambientales (SNIA) que desarrolla un conjunto de indicadores que dan información de cambios positivos y/o negativos que presenta el país en temas medio ambientales y los recursos naturales (SEMARNAT 2009).

#### **17.5.2.2 Colombia**

La división de Desarrollo Sostenible del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia 2009) desarrolló el proyecto "Sistema de Indicadores Ambientales Urbanos", que incluye la creación de sistemas de información ambiental para los grandes centros urbanos y para

---

<sup>58</sup> El detalle de este modelo se presenta en punto 17.8.1



las ciudades intermedias, pero la falta de información consistente y coherente sobre la calidad ambiental del país es una de las principales restricciones.

## 17.6 Situación en Chile

La CONAMA es el organismo que ha estado encargado de la aplicación de modelos de indicadores, tomando como principal referencia lo realizado en Canadá. Al año 2000 se concluyó el diseño de un conjunto de Indicadores de Desarrollo Sustentable donde se incluyeron las regiones del Biobío, Aysén y Magallanes. También se incorporó una propuesta para que en el transcurso del año 2001-2002, se completara el estudio para las regiones restantes. Según Quiroga (2001), la CONAMA está desarrollando desde 1997 este sistema de indicadores.

El marco conceptual se centró principalmente en los componentes ambientales del país: agua, suelo, aire y biodiversidad; dinámica ambiental urbana, sectores productivos, y cambio global. Actualmente, la CONAMA cuenta con una propuesta de indicadores ambientales a escala nacional, estimados y con una validación técnica preliminar con sus unidades técnicas, servicios públicos generadores de la información y con el INE (Instituto Nacional de Estadísticas), con el objeto de fijar una política y plataforma de actualización, calibración y mantención de los mismos en el tiempo. Se cuenta, además, con una propuesta priorizada de indicadores ambientales comunes y específicos para las trece regiones<sup>59</sup> administrativas del país, validados, estimados y registrados en una hoja metodológica. Este año se procederá en integrar el sistema de indicadores en la plataforma Web de CONAMA y del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), en proceso de desarrollo y posterior marcha blanca, una vez que cuente con la respectiva oficialización de los mismos por parte del INE.

Paralelo al desarrollo de los indicadores regionales, a la fecha se encuentran 18 indicadores nacionales de desarrollo sostenible que se encuentran en discusión. (Quiroga 2001)

## 17.7 Tipo de indicadores desarrollados

En los países se han desarrollado diferentes tipos de indicadores, variando en sus metodologías, presentación y marcos metodológicos, entre otros. A continuación se presentan algunos de los indicadores relacionados con los recursos hídricos desarrollados por los distintos organismos.

### 17.7.1 Indicadores propuestos por la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS), Naciones Unidas

La CDS generó una propuesta de indicadores que ha sido revisada desde su creación en 1995, a partir de la retroalimentación proveniente de los países que han probado su construcción (Schuschny y Soto 2009).

---

<sup>59</sup> Considera la implementación en la división administrativa del país anterior a la reforma de 2007.

En la Tabla 78 se presentan parte de los indicadores propuestos por la CDS relacionados con los recursos hídricos.

**Tabla 78: Indicadores propuestos por la CDS relacionados directamente con el recurso hídrico.**

Tema	Subtema	Indicador	Otro Indicador
Océanos, Costas y Mares	Zona de Costas	Porcentaje de población viviendo en zonas costeras	Calidad del agua de las playas
	Pesquerías	Proporción de existencia de peces dentro de límites biológicos seguros	
	Ambiente marino	Proporción de áreas marinas protegidas	Índice trófico marino Superficie de ecosistemas de arrecifes de coral y porcentaje de vida cubierta
Agua dulce	Cantidad de agua	Proporción del total de recursos utilizados	
		Intensidad del uso del agua por actividad económica	
	Calidad de agua	Presencia de residuos fecales en agua dulce	Demanda bioquímica de oxígeno en acuíferos
			Tratamiento de aguas residuales

Fuente: Schuschny y Soto (2009).

### 17.7.2 Indicadores propuestos en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Nuevo Milenio (ODM)

A pesar de que los ODM no están asociados al Desarrollo Sostenible (Schuschny y Soto 2009), se pueden incluir algunas metas, particularmente la perteneciente al objetivo número 7 de los ODM, que pueden tener implicancia en el tema, los cuales se muestran en la Tabla 79.

**Tabla 79: Objetivo 7 de Desarrollo del Nuevo Milenio y metas directamente asociadas.**

Objetivo 7	Meta	Indicador
Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente	7.b. Reducir la pérdida de biodiversidad	7.4. Proporción de poblaciones de peces que están dentro de límites biológicos seguros
		7.5. Proporción del total de recursos hídricos utilizados
		7.6. Proporción de las áreas terrestres y marinas protegidas
		7.7. Proporción de especies en peligro de extinción
	7.c. Reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento	7.8. Proporción de la población con acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable
		7.9. Proporción de la población con acceso a servicios de saneamiento mejorados

Fuente: Schuschny y Soto (2009).

### 17.7.3 Indicadores propuestos en el marco de la Base de Estadísticas e Indicadores de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe (BADEIMA)

La BADEIMA (CEPALSTAT<sup>60</sup> 2007) surge de la necesidad de América Latina, particularmente en el ámbito regional, de fomentar que se generen estadísticas de desarrollo sostenible en los diversos países, lo que resulta de gran utilidad donde no se tiene abundante información.

La BADEIMA proporciona información respecto de un conjunto de 110 estadísticas ambientales, organizadas a partir de nueve áreas temáticas. A continuación, la Tabla 80 muestra una selección de las áreas temáticas directamente relacionadas con la gestión del recurso hídrico para sintetizar la información.

**Tabla 80: BADEIMA relacionado con tema agua**

Tema	Área temática	Variable
Agua	Calidad de agua	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
		Demanda química de oxígeno (DQO)
	Aguas residuales	Plantas de tratamiento de aguas residuales
		Aguas residuales tratadas
Mares y borde costero	Pesca	Extracción de las principales pesquerías
		Números de embarcaciones dedicadas a la pesca
	Números de especies con restricción de explotación	
	Acuicultura	Volumen de producción acuícola

Fuente: Schuschny y Soto (2009).

### 17.7.4 Base de Datos de Indicadores de Desarrollo Sostenible (BADESALC). División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos (CEPAL)

Actualmente, esta base de datos forma parte de la CEPAL y es una herramienta (a diferencia de BADEIMA, que destaca indicadores ambientales) que entrega información sobre indicadores de desarrollo sostenible.

La BADESALC (CEPALSTAT 2007) contiene indicadores a escala país que relacionan a nivel social, institucional, económico y ambiental, datos de eficiencia, desempeño, sostenibilidad y evolución. Se encuentra un sistema de información detallado por área temática y por año. Cabe destacar que el sistema ambiental contempla cuestiones sobre el ambiente natural en sus aspectos de recursos naturales, procesos ecológicos, condiciones de soporte vital y biodiversidad (Schuschny y Soto 2009). A continuación se presentan los indicadores relacionados directamente con la gestión del recurso hídrico, en la Tabla 81.

**Tabla 81: BADESALC con indicadores directamente relacionados con el recurso hídrico**

Área	Indicadores
Subsistema ambiental de sostenibilidad	Extracción de agua como porcentaje del total de recursos hídricos internos
De lo ambiental a lo económico	Extracción anual total de agua
De lo ambiental a lo social	Emisiones de contaminantes orgánicos del agua

Fuente: Schuschny y Soto (2009).

<sup>60</sup> CEPALSTAT: Estadísticas de América Latina y el Caribe, perteneciente a la CEPAL.

### 17.7.5 Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible (ILAC)

Adoptada el año 2002, surge y apoya un proyecto para producir indicadores ambientales donde se desarrollaron hojas metodológicas y meta datos, entre otras acciones. La Tabla 82 muestra los indicadores de ILAC, relacionada con el recurso hídrico.

**Tabla 82: ILAC tema gestión de recursos hídricos**

Tema	Meta orientadora	Indicadores
Gestión de recursos hídricos	Suministro de agua	Disponibilidad de agua por habitante
		Consumo de agua por habitante
	Manejo de cuencas	Porcentaje de áreas de cuenca bajo manejo
	Manejo marino-costero y sus recursos	Extracción pesquera
	Mejor calidad de aguas terrestres	Porcentaje de la población con acceso a saneamiento

Fuente: Schuschny y Soto (2009).

### 17.8 Marco conceptual para el desarrollo de IDS

Con el fin de presentar la información de manera sistemática, ordenada y fácilmente entendible, es que se generan marcos conceptuales. Para Quiroga (2001), los indicadores se ordenan de una forma determinada con el propósito de mostrar sus resultados y que estos se hagan evidentes para los usuarios.

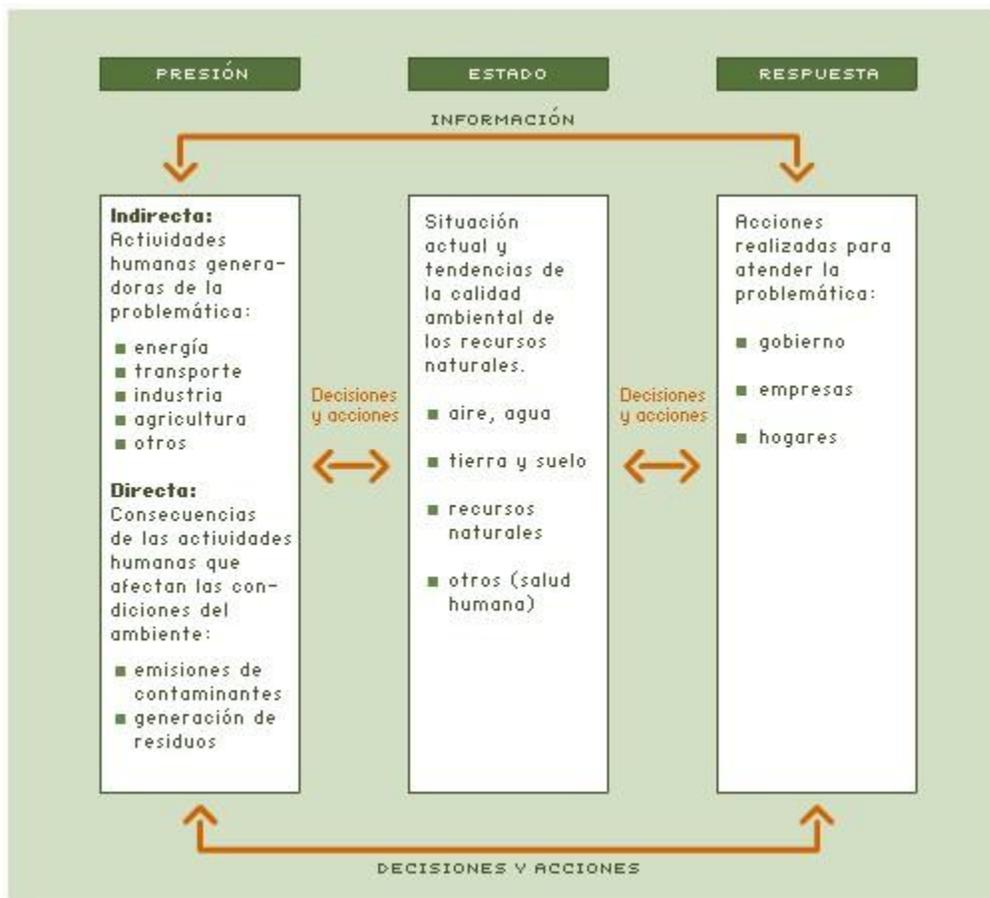
Para la construcción de indicadores existen diversos marcos conceptuales. Dentro de los diferentes modelos propuestos por los distintos países y organizaciones, se observa que gran parte de los marcos ordenadores se basan en el modelo de Presión-Estado-Respuesta o variaciones de éste.

#### 17.8.1 Modelo Presión Estado Respuesta PER

Se señala como "uno de los marcos ordenadores más usados, por su utilidad en la toma de decisiones y formulación y control de políticas públicas" (Quiroga 2001). El modelo de PER es un modelo lógico basado en las presiones que pueden ejercer las actividades humanas sobre el medio ambiente que reflejan un estado de los recursos. La sociedad responde a estos efectos con políticas públicas, económicas y ambientales. Este modelo fue propuesto por Canadá y la OCDE (Gea Consultores Ambientales 2009). Los indicadores de presión surgen como respuesta a las causas que generan los problemas. Los indicadores de Estado responden sobre el estado del medio ambiente mientras que los de respuesta responden preguntas sobre lo que se está haciendo para resolver el problema (Quiroga 2001).

A continuación se presenta el modelo propuesto por la OCDE en el Marco de Desarrollo Sostenible, en la Figura 16.

**Figura 16: Modelo PER**



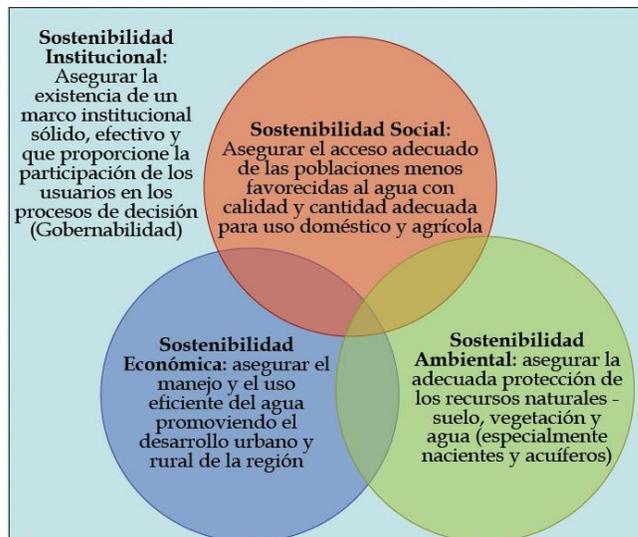
Fuente: OECD (1993) citado por GEA Consultores Ambientales (2009).

Al ser un modelo propuesto por la OECD, permite la comparación entre experiencias internacionales, lo cual es una de sus principales ventajas. No obstante, aunque es un sistema usado y validado por bastantes países, Quiroga (2001), señala que "se basan en datos existentes, hecho que lleva preferentemente a políticas de corto plazo", además señala que "no aportan metas de sostenibilidad y no dan información sobre las funciones ecológicas".

### 17.8.2 Marco adoptado para la propuesta de indicadores

Para seguir en la línea adoptada de desarrollo sostenible, se debe tener en cuenta que la presentación de los indicadores se llevará a cabo considerando las cuatro categorías planteadas por la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas: social, económica, institucional y ambiental, como dimensiones del desarrollo sostenible (Figura 17).

**Figura 17: Dimensiones y marco conceptual**



Fuente: Pires (2007b)

Considerando estas dimensiones, como guía para proponer un indicador de Desarrollo Sustentable del recurso hídrico, se enmarcará un modelo de PER.

La Tabla 83 muestra el marco conceptual para la generación de Indicadores de Desarrollo Sostenible de los Recursos Hídricos (IDSRH), en la que se indican las cuatro áreas de Desarrollo Sostenible, relacionadas con la Presión, su Estado y su Respuesta como elementos integradores.

**Tabla 83: Marco Conceptual para la generación de IDSRH**

Área	¿Qué afecta el Recurso Hídrico? Presión	¿Qué está pasando con el recurso hídrico? Estado	¿Acción? Respuesta
Social	Uso del agua por los diferentes rubros	Baja la disponibilidad	Mayor fiscalización y considerar evaluaciones de los derechos otorgados
	Bajos niveles de eficiencia en el uso del agua	Baja disponibilidad física	Distribución del agua en función de la eficiencia en el uso
	Organismos dedicados al Desarrollo Sostenible del Agua	Se han generado Mesas de Agua y hay preocupación de ciertos sectores	Generación de una conciencia de Desarrollo Sostenible
	Problemas de acceso y transparencia en la información	Conflictos entre Usuarios	Mejorar fuentes de información sobre estado y evaluaciones del recurso hídrico generadas por organismos tomadores de decisiones



Área	¿Qué afecta el Recurso Hídrico? Presión	¿Qué está pasando con el recurso hídrico? Estado	¿Acción? Respuesta
Económico	Empresas ligadas al trabajo con recursos hídricos	Genera mayores demandas de agua	Fomento al uso de agua Desalada y/o depuradas
	Demanda de la población por consumo de agua tratada	Aumenta la demanda en ciertos sectores	Generar oferta combinando fuentes de recursos distintos
	Demanda de agua para riego	Aumento de la demanda de agua para riego	Incorporar mayor eficiencias en la conducción y uso del agua para riego
Ambiental	Contaminación no antrópica	Aguas de mala calidad	Cuantificación de contaminantes
	Contaminación provocada por el hombre	Aguas de mala calidad	Cuantificación de contaminantes
	Cambios en la cantidad de agua entregada por el río	Mayor ocurrencia de crecidas y sequías	Diseño e implementación de métodos de alerta temprana y mejoramiento de la infraestructura de la cuenca
	Extracción de aguas subterráneas	Agotamiento de las napas subterráneas	Monitoreo y fiscalización de extracción de agua proveniente de acuíferos
Institucional	Fiscalización insuficiente	Extracciones ilegales	Mayor número de fiscalizadores
	Cultura de uso de agua e investigación de cuencas	Investigación deficitaria en aspectos relacionados con la gestión de recursos hídricos	Aumento del gasto en investigación. Generación de conciencia del uso sostenible nivel cuenca

Fuente: Elaboración propia.

En función de este Marco Conceptual se proponen indicadores de sustentabilidad de los recursos hídricos. Dado que la cuenca hidrográfica se comporta como el elemento natural ideal para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, una visión integral de cada cuenca se convierte en un pilar fundamental para el desarrollo de indicadores locales.

## 17.9 Indicadores propuestos

La evaluación de los indicadores depende de factores técnicos y estudios particulares, entre otros, por lo que sólo se presentan como una posible propuesta sujeta a evaluaciones posteriores en la Tabla 84.



**Tabla 84: Indicadores propuestos**

Tema	Subtema	Indicadores
1. Social	1.a Equidad	Porcentaje de usuarios del agua informados sobre la toma de decisiones acerca del recurso hídrico en su organización.
		Porcentaje de participación en transacciones de agua por uso y tipo de usuario.
	1.b Consejos y agrupaciones	Porcentaje de representación de los diferentes intereses en torno al agua en instancias formales de participación, como Mesas de Agua u otras.
	1.c Salud	Número de enfermos atribuibles a consumo de agua contaminada.
	1.d Acceso al agua potable	Porcentaje de habitantes con acceso a aguas potable.
2. Económico	2.a Generación de empleo	Número de puestos de empleo generados en función de los derechos de aprovechamiento otorgados por Uso
	2.b Eficiencia en el uso del agua	Proporción de derechos otorgados en función del beneficio económico generado por el rubro
	2.c Agricultura	Número de hectáreas de la cuenca regada con sistemas de riego tecnificado, en relación al número total de hectáreas regadas.
		Utilidades económicas por unidad de agua usada como insumo en la agricultura.
	2.d Minería	Utilidades económicas por unidad de agua usada como insumo en la minería.
	2.e Industrias	Utilidades económicas por unidad de agua usada como insumo en la industria.
	2.f Energía	Utilidades económicas por unidad de agua usada como insumo en la generación hidroeléctrica.
2.g Mercado	Número de transacciones de derechos realizadas por cuenca.	
3. Ambiental	3.a Agotamiento	Porcentaje del caudal medio mensual no asignado a derecho de aprovechamiento en relación a la demanda de usos <i>in situ</i> .
		Caudal transferido entre usos del agua al año por cuenca.
		Porcentaje de aguas desaladas en relación al total de agua disponible en la cuenca.
	3.b Contaminación	Porcentaje de aguas depuradas.
Número de mediciones de agua que supera norma de calidad.		
4. Institucional	4.a Fiscalización	Número de fiscalizadores por unidad de área en una cuenca.
		Número de estaciones de medición de caudales.
	4.b Integración institucional	Número de programas, proyectos e instancias de decisión en torno al agua con participación conjunta de instituciones del Estado.
	4.c Presupuesto	Porcentaje del presupuesto de la nación destinado a DGA comparado con el porcentaje destinado a instituciones del agua en países desarrollados.

Fuente: Elaboración propia.



## 17.9.1 Análisis de de indicadores propuestos según temas y sub-temas.

### 17.9.1.1 Indicadores sociales

#### a) Equidad

- Porcentaje de usuarios del agua informados sobre la toma de decisiones acerca del recurso hídrico en su organización.

Meta: Pretende medir el acceso a información referente a la toma de decisiones en torno al agua. Involucra a todos los usuarios del agua de cada OUA.

Ventajas: Mayor transparencia en la información otorgada y puesta a disposición para todos los usuarios dando mayor equidad en torno al agua.

Limitantes: Requiere de organizaciones de usuarios establecidas para poder lograr porcentajes de asistencia a reuniones que permitan una toma de decisiones representativa. También hay limitantes tecnológicas que tienen que ver con la calidad y disponibilidad de la información.

- Porcentaje de participación en transacciones de agua por uso y tipo de usuario.

Meta: Conocer si el mercado de aguas por cuenca es accesible para los diferentes tipos de usuarios y usos.

Ventajas: Permite identificar y generar antecedentes que actualmente no existen formalmente.

Limitantes: La información no es de fácil acceso. Puede haber transacciones informales. No distingue entre transacciones permanentes o eventuales.

#### b) Consejos y agrupaciones

- Porcentaje de representación de los diferentes intereses en torno al agua en instancias formales de participación. Mesas de agua u otras.

Meta: Evaluar la diversidad de intereses presentes en instancias de discusión sobre los temas de agua en cada cuenca.

Ventajas: Releva si todos los usos e interesados sobre los temas del agua son representados en iniciativas como mesas de agua, consejos de cuenca comunidades de aguas subterráneas, y otras.

Limitantes: Son pocas las instancias por cuenca en la actualidad que tienen participación de no usuarios.

#### c) Salud

- Número de enfermos atribuibles a consumo de agua contaminada.

Meta: Medir la higiene del agua relacionado a la salud pública.

Ventajas: Muestra una relación directa entre agua y salud pública.

Limitantes: Atribuir una enfermedad al consumo de agua puede ser difícil porque requiere estudios complejos y de largo plazo



#### **d) Acceso al agua**

- Porcentaje de habitantes con acceso a potable

Meta: Medir el acceso a agua potable en la cuenca.

Ventajas: Se podrán elaborar políticas de manejo adecuadas en zonas donde haya problemas de acceso y se podrían considerar zonas prioritarias.

Limitantes: No considera los precios asociados al acceso al agua como factor limitante para parte de la población.

#### **17.9.1.2 Indicadores económicos**

##### **a) Generación de empleos**

- Número de puestos de empleo generados en función de los derechos de aprovechamiento otorgados por rubro.

Meta: Mostrar la relación existente entre la generación de empleo, versus la cantidad de derechos de agua otorgados al uso. Será una medida de eficiencia en la utilización de agua y su participación en la generación de empleo en la cuenca.

Ventajas: Permite visualizar los beneficios económicos indirectos asociados a la generación de empleo por parte de los distintos sectores de usuarios de la cuenca y no sólo en relación a las utilidades del uso.

Limitantes: No establece diferencias entre los usuarios de un mismo uso. Esto podría provocar sobreestimaciones para un rubro en el cual no todos los usuarios funcionan como generadores de empleo.

##### **b) Eficiencia en el uso del agua**

- Proporción de derechos otorgados en función del beneficio económico (PIB) generado por el uso.

Meta: Mostrar la relación existente entre el beneficio económico versus la cantidad de derechos de agua otorgados al uso. Será una medida de eficiencia en la utilización de agua y su participación en la generación de producto interno bruto por cuenca.

Ventajas: Visión del agua como insumo productivo relacionado a la generación de PIB por rubro. Se verá la utilidad que le dan los usos en relación a su importancia como insumo para generar riqueza al país.

Limitantes: No establece diferencias entre los usuarios de un mismo uso. Esto podría provocar sobreestimaciones para un rubro en el cual no todos los usuarios aportan al PIB.

##### **c) Agricultura**

- Número de hectáreas de la cuenca regada con sistemas de riego tecnificado en relación al número de hectáreas totales regadas.

Meta: Evaluar la eficiencia técnica del uso del agua en la agricultura por cuenca.



Ventajas: Fácil de medir y de comparar la evolución de la eficiencia de uso en el tiempo.

Limitantes: Existen diferencias importantes en términos de eficiencia entre los distintos tipos de riego tecnificado.

- Utilidades económicas por unidad de agua usada como insumo en la Agricultura.

Meta: Evaluar objetivamente los beneficios económicos generados a partir del uso del agua de la actividad agrícola por cuenca.

Ventajas: Se valoriza el recurso considerando su aporte como insumo al proceso productivo.

Limitantes: Su valorización puede ser compleja principalmente porque el acceso a la información económica que manejan algunos usuarios es de carácter confidencial.

#### **d) Minería**

- Utilidades económicas por unidad de agua usada como insumo en la minería.

Meta: Evaluar objetivamente los beneficios económicos generados a partir del uso del agua de la actividad minera por cuenca.

Ventajas: Se valoriza el recurso tomándolo en cuenta como insumo.

Limitantes: Su valorización puede ser compleja por las mismas razones expuestas en el punto anterior.

#### **e) Industrias**

- Utilidades económicas por unidad de agua usada como insumo en la Industria.

Meta: Evaluar objetivamente los beneficios económicos generados a partir del uso del agua de la actividad industrial presente en cada cuenca.

Ventajas: Se valoriza el recurso tomándolo en cuenta como insumo.

Limitantes: Su valorización puede ser compleja por la diversidad de industrias presentes y la accesibilidad a la información.

#### **f) Energía**

- Utilidades económicas por unidad de agua usada como insumo en la Generación Hidroeléctrica.

Meta: Evaluar objetivamente los beneficios económicos generados a partir del uso del agua de la actividad Hidroeléctrica por cuenca.

Ventajas: Se valoriza el recurso tomándolo en cuenta como insumo para la generación eléctrica.

Limitantes: Su valorización puede ser compleja principalmente porque el acceso a la información económica que manejan algunos usuarios es de carácter confidencial.



## g) Mercado

- Número de transacciones de derechos realizadas por cuenca

Meta: Evaluar el dinamismo del mercado de aguas.

Ventajas: Entrega una señal clara respecto funcionamiento del mercado de derechos de aprovechamiento.

Limitantes: No representa la variabilidad espacial de las transacciones. No diferencia transacciones temporales de agua. Acceso a la información oficial.

### 17.9.1.3 Indicadores ambientales

#### a) Cauce

- Porcentaje del caudal medio mensual no asignado a derecho de aprovechamiento en relación a la demanda para usos *in situ*.

Meta: Medir la disponibilidad de agua para usos ecológico, turismo, recreacional, entre otros (*in situ*).

Ventajas: Permite generar registros de disponibilidad de agua por cuenca desde la perspectiva de los usos no tradicionales.

Limitantes: Es complejo definir la demanda de parte de los usos *in situ*.

- Caudal transferido entre usos del agua al año por cuenca.

Meta: Estimar la posible variación de los caudales de retorno al cambiar la propiedad del agua entre usos.

Ventajas: Se observará la tendencia de la tenencia del agua y su relación con el agotamiento.

Limitantes: no diferencia las distintas eficiencias en el uso del agua al interior de un mismo rubro.

- Porcentaje de aguas desaladas en relación al total e agua disponible en la cuenca.

Meta: evaluar el uso de tecnologías no convencionales en el aumento de la disponibilidad de agua en la cuenca.

Ventajas: permite visualizar la necesidad de recurrir a esta fuente de agua alternativa. Sirve como insumo para propuestas de políticas o instrumentos de fomento a la desalación.

Limitantes: No refleja cual es el uso al cual se destina el agua desalada. No incorpora costos ni beneficios del tratamiento.

#### b) Contaminación

- Porcentaje de Aguas depuradas

Meta: Conocer el nivel de tratamiento de aguas residuales a nivel de la cuenca

Ventajas: Fácil de medir. Permite evaluar el uso de tecnologías.

Limitantes: No mide el nivel de tratamiento ni el uso posterior de estas.



- Número de mediciones de agua que supera norma de calidad.

Meta: Medir la calidad de agua en relación a las normas correspondientes.

Ventajas: Facilita el registro y control de eventos de contaminación.

Limitantes: Requiere de medición en tiempo real.

#### **17.9.1.4 Indicadores institucionales**

##### **a) Fiscalización**

- Número de fiscalizadores por unidad de área en una cuenca.

Meta: Evaluar los recursos humanos disponibles para el control de uso del agua.

Ventajas: De fácil medición. Permite priorizar la asignación de recursos a cuencas con mayores necesidades.

Limitantes: Difícil determinar el número apropiado de fiscalizadores necesarios por cuenca.

- Número de estaciones de medición de caudales.

Meta: Lograr un control adecuado sobre los caudales superficiales y subterráneos

Ventajas: permite evaluar la capacidad de fiscalización sobre las extracciones de agua.

Limitantes: El alto costo de implementar una red de monitoreo apropiado a cada cuenca.

##### **b) Integración institucional**

- Número de programas, proyectos e instancias de decisión en torno recurso hídrico con participación conjunta de instituciones del Estado.

Meta: Evaluar el grado de participación conjunta de instituciones el estado que actúan en temas de agua.

Ventajas: permite reconocer las instancias en que hay participación interinstitucional y aquellas en las que se puede promover esta integración.

Limitantes: No refleja el nivel de coordinación entre las instituciones.

##### **c) Presupuesto**

- Porcentaje del presupuesto de la nación destinado a DGA comparado con porcentaje destinado a instituciones del agua en países desarrollados.

Meta: Comparar la realidad chilena con países más avanzados en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos

Ventajas: Fácil de medir. Refleja la prioridad en términos económicos que se da en la administración pública al la institucionalidad del agua.

Limitantes: El resultado es relativo en función de que países sean los que se usan de referencia.

## 18 RECURSOS HÍDRICOS COMPARTIDOS EN CHILE

### 18.1 Cuencas compartidas con países vecinos

#### 18.1.1 Introducción

Cincuenta y ocho son las cuencas que Chile comparte con sus países vecinos (Tabla 85). Debido a que prácticamente la totalidad de la frontera está definida con Argentina, resulta lógico que la mayor parte de los recursos hídricos se compartan con ese país (cerca del 70%). Pese a que con Bolivia solo 15 cuencas son las que traspasan las fronteras de ambos países, la importancia de éstas radica en el hecho de que las regiones fronterizas con Bolivia (Tarapacá y Antofagasta) presenta un bajo índice de disponibilidad de agua en términos de m<sup>3</sup>/habitante año, lo que implica necesidades de aprovechamiento de agua dulce (Faúndez 2007b).

**Tabla 85: Cuencas compartidas entre Chile y sus países vecinos.**

	País vecino	Cuencas
Chile	Perú	3
Chile	Perú-Bolivia	7
Chile	Bolivia	7
Chile	Argentina-Bolivia	1
Chile	Argentina	40
<b>Total</b>		<b>58</b>

Fuente. Faúndez (2007b), basado en información no oficial de la DGA, agosto de 2005.

En el siguiente capítulo se identificarán los principales conflictos y tratados internacionales referentes al uso de los recursos hídricos provenientes de cuerpos de agua compartidos entre Chile, Argentina y Bolivia. Debido a la calidad de la información prácticamente la totalidad del trabajo se realizó utilizando como fuente a Faundez (2007a) y Faundez (2007b) para el caso de Argentina y Bolivia respectivamente.

#### 18.1.2 Recursos hídricos compartidos entre Chile y Argentina

##### 18.1.2.1 Antecedentes generales

El Tratado de Límites de 1881 conjuga dos criterios para la delimitación de la frontera, la tesis de las cumbres más altas, apoyada por Argentina, y la divisoria de aguas, sustentada en Chile. En el acto de la demarcación de la frontera, las comisiones de límites observan que la línea dibujada por el criterio orográfico no coincide con la línea hidrográfica. El Protocolo Adicional al Tratado de 1881, firmado en 1893, tiene el objeto de unificar criterios para trazar la frontera al establecer que Argentina no pretendería punto alguno hacia el Pacífico y Chile no pretendería punto alguno hacia el Atlántico. Sin embargo, debido a que las líneas orográfica e hidrográfica eran irreconciliables, a partir del Fallo Arbitral de 1902, queda establecido que la línea fronteriza entre ambos países queda definida por las pretensiones extremas de ambas partes. A partir de esta decisión, Chile y Argentina comparten una serie de recursos hídricos (Tabla 1) entre los cuales destacan los lagos General Carrera/Buenos Aires, Cochrane/Pueyrredón, O'Higgins/San Martín; además de los ríos de la cuenca Valdivia-Huahum, Puelo, Futaleufú, Fuigueroa, entre otros.



Con el objetivo de establecer acuerdos de administración o gestión de recursos hídricos compartidos, Chile trabaja con instituciones de Argentina conforme al cuerpo legal constituido. Al respecto, ambos países han elaborado instrumentos internacionales cuyos principales textos suscritos son: Acta de Santiago sobre Cuencas Hidrológicas del 26 de junio de 1971, el Tratado sobre medio Ambiente del 2 de agosto de 1991, y el Protocolo Específico Adicional sobre Recursos Hídricos Compartidos del 2 de agosto de 1991.

El Acta de Santiago establece reglas generales para regular en forma plena la utilización de los recursos hidrológicos compartidos entre Chile y Argentina. Aunque el Acta no es un tratado internacional algunas de sus disposiciones incluyen a) la utilización de forma equitativa y razonable de aguas fluviales y lacustres; b) el aprovechamiento de tramos contiguos de los ríos internacionales previo acuerdo bilateral entre ribereños; c) la utilización libre de los recursos hídricos compartidos dentro de los territorios respectivos sin causar perjuicio a la otra parte; d) la facilitación de proyectos a realizar dentro de los ríos y/o lagos compartidos por parte del Estado ejecutor al otro; y e) la creación de una Comisión Técnica Mixta para la resolución de diferendos.

En el Tratado sobre Medio Ambiente de 1991, ambos países convienen en la conservación y el uso equilibrado de los recursos naturales, establecen el principio de la responsabilidad ambiental compartida, la concertación internacional y la protección del recurso agua, y fijan normas para la prevención de catástrofes ecológicas. En el Protocolo Específico Adicional sobre Recursos Hídricos Compartidos de 1991, ambas naciones manifiestan su adhesión al concepto de manejo integral de las cuencas, formulan el propósito de regir el uso de los recursos hídricos compartidos mediante la elaboración de Planes Generales de Utilización para cada cuenca y reconocen los usos actuales de los países sobre tales recursos.

Finalmente, y con el fin de identificar los recursos hídricos compartidos y llevar acuerdos específicos a la práctica, el 3 de julio de 1996, inicia sus funciones el Grupo de Trabajo sobre Recursos Hídricos Compartidos en Santiago, Chile. Esta instancia es creada en el marco del Protocolo Adicional Específico sobre Recursos Hídricos Compartidos al Tratado del Medio Ambiente, y en el ámbito de la Comisión Binacional de Cooperación Económica e Integración Física y de la Subcomisión del Medio Ambiente. Entre sus principales objetivos, está el establecimiento de Planes Generales de Utilización de los Recursos Hídricos Compartidos, la elaboración común de Planes de Contingencia para enfrentar catástrofes o accidentes que afecten a las cuencas compartidas y la creación de un procedimiento de información recíproca sobre las obras actuales de aprovechamiento de recursos hídricos compartidos y de los que se constituyan en el futuro, de acuerdo con las respectivas legislaciones internas (Espinoza, 2001). En una primera etapa de los Planes Generales de Utilización, se convino en trabajar en cinco cuencas priorizadas, definidas de común acuerdo, que se nombran a continuación, de las cuales se determinaron como cuencas piloto las dos primeras: Río Huahum-Valdivia; Río Grande de Tierra del Fuego; Río Zapaleri; Río Puelo y Río Futaleufú.

Hacia 1999, este grupo había elaborado un sistema de información sobre recursos hídricos compartidos y recursos naturales asociados en cada país, mapas temáticos conjuntos de las cinco cuencas prioritarias como resultado de la integración de bancos de datos, y avances en la definición de la estructura de los Planes Generales de Utilización, instrumentos de gestión que deben establecer las pautas para un aprovechamiento de aguas óptimo y armónico.

Dado el avance en la recolección de datos y la integración de la información los presidentes de Chile y Argentina hacen referencia en la Declaración Presidencial del año 2003, a que el Grupo de Trabajo sobre Recursos Hídricos, constituyera un comité de gestión de cuencas para una de las cuencas priorizadas. Posteriormente en la Declaración Presidencial Conjunta del 14 de marzo de 2005 los mandatarios de Chile y Argentina manifiestan su complacencia por los avances logrados durante el año 2004 y encomienda la definición de una agenda de corto plazo para acelerar las tareas del Grupo de Trabajo y de un Grupo de Expertos, a fin de constituir los subgrupos binacionales de expertos para las cuencas piloto de Huahum-Valdivia y río Grande de Tierra del Fuego.

### 18.1.2.2 Conflictos por el agua

La historia de conflictos por el agua entre Chile y Argentina permite identificar dos causas estructurales de conflictos:

- Fronteras en disputa, desde la época de la independencia.
- Carencia de un marco desarrollado para los recursos compartidos

Como causa intermedia, se observa la búsqueda por el control de fuentes de recursos hídricos. Sin embargo, hasta el momento, no se registran conflictos bélicos por la disputa de recursos hídricos, a pesar de que en la década de los setenta ocurre un incidente con resultado de muerte en Laguna del Desierto.

Los conflictos relevantes por el uso de recursos hídricos compartidos se resumen en la Tabla 86.

**Tabla 86: Causas de conflictos por el uso de recursos hídricos compartidos entre Chile y Argentina y sus respectivos mecanismos de resolución y consecuencias.**

Conflicto	Causa	Mecanismo de Resolución y consecuencias
Río Palena	Control fuentes de origen	Arbitraje 1966. La totalidad del Río Encuentro en territorio chileno y nacientes del río Engaño en territorio argentino
Laguna del Desierto	Control fuentes de origen	Arbitraje 1995. Todo el territorio en disputa fue reconocido como argentino.
Río Santa Cruz	Control fuentes de origen	Negociación 1998. Acuerdo de Campos de Hielo. Ambas naciones comparten y reconocen sus derechos sobre las aguas del río Santa Cruz y hacia los fiordos oceánicos. Sin embargo, no ha sido posible efectuar la demarcación debido a que la zona es de difícil acceso. Como consecuencia Chile y Argentina acordaron dibujar en sus mapas un rectángulo que indica la zona sin demarcación, sin embargo en 2005, entidades de Argentina han publicado cartografía atribuyéndose la soberanía de la zona, abriendo nuevamente el conflicto.



Conflicto	Causa	Mecanismo de Resolución y consecuencias
Río Futaleufú	Construcción de Central Hidroeléctrica Futaleufú	Mientras no exista un instrumento bilateral que regule la administración de aguas entre Chile y Argentina por el recurso del Futaleufú, no existe garantía de que se evite que Argentina modifique el caudal de escurrimiento, lo que puede ocasionar un cambio drástico en la disponibilidad de agua en territorio chileno, y por lo tanto se constituye en potencial fuente de conflicto.

Fuente: Adaptación desde Faundez (2007a).

Finalmente, por medio del último caso de conflicto, se demuestra que el término de los diferendos limítrofes, zanjado en 1998 con el *Acuerdo de Campos de Hielo*, no es suficiente para cerrar las posibilidades de conflicto por el agua entre Chile y Argentina. Por otra parte, la construcción de la Central Hidroeléctrica de Futaleufú, reflejó una nueva expresión de los problemas bilaterales por el agua, cual es el manejo de los recursos compartidos y los aprovechamientos económicos.

### **18.1.3 Recursos hídricos compartidos entre Chile y Bolivia**

#### **18.1.3.1 Antecedentes generales**

A pesar de compartir 15 cuencas a lo largo de su frontera no ha existido voluntad de establecer acuerdos sobre la gestión de los recursos hídricos compartidos entre ambos países.

Al respecto, en enero de 2001 Chile y Bolivia acuerdan el establecimiento de una Comisión o grupo Binacional de carácter técnico para estudiar el área de los recursos hídricos, con especial consideración de los temas ambientales. El 13 de diciembre de 2002 se efectúa en Santiago la *Primera Reunión Bilateral sobre Recursos Hídricos* en la que se evalúa el establecimiento de un marco normativo general para la utilización de los recursos de agua de ambos países, compartidos y no compartidos, tanto superficiales como subterráneos. Sin embargo, después de una reunión celebrada en el Congreso Nacional de Bolivia en 2003 se rechazó públicamente la intención de conformación del grupo técnico de bilateral de Chile. Como consecuencia de lo anterior no es posible constituir el Grupo de Trabajo Binacional en la Segunda Reunión Bilateral sobre Recursos Hídricos.

#### **18.1.3.2 Conflictos por el agua**

Los conflictos por el agua entre Chile y Bolivia son 4 (Tabla 87). Ninguno de ellos ha tenido un desenlace violento, pero a juicio de los diferentes estamentos del gobierno de Bolivia, todos están pendientes. La causa común de conflicto tiene un doble carácter. Se conjuga un desarrollo unilateral de proyectos (que tiene relación con el uso de aguas) con una ausencia de instituciones transfronterizas de administración o de gestión de aguas.

Las causas de conflictos se expresan de la siguiente forma:

- Causa inmediata: utilización de aguas por Chile
- Causas estructurales: a) Ausencia de instituciones bilaterales de aguas; b) Escasez de agua en Chile, necesidades de aprovechamiento

Destaca en la relación con Bolivia, que los conflictos por el agua se acumulan, y aunque se generan instancias de intercambio y negociación, como las comisiones de peritos, no ha sido posible establecer medidas de solución.

Finalmente, durante el presente año Chile y Bolivia firman un preacuerdo que establece un "marco adecuado"<sup>61</sup> para la utilización de los recursos hídricos del río Silala. Sin embargo, y en concordancia con el tipo de relaciones bilaterales que caracterizan a ambos países, la firma del acuerdo definitivo se aplazó en el momento en que el Ministro de Relaciones Exteriores boliviano, David Choquehuanca declara que "si el pueblo boliviano no quiere que se firme (definitivamente el pacto), bueno, no firmamos nosotros. No podemos ir contra esa voluntad soberana. Pero el pueblo boliviano necesita estar bien informado"<sup>62</sup>.

**Tabla 87: Causas de conflictos por el uso de recursos hídricos compartidos entre Chile y Bolivia y sus respectivos mecanismos de resolución y consecuencias.**

Conflicto	Causa	Mecanismo de Resolución y consecuencias
Río Mauri	Cualquier acción de Chile tendiente a la utilización de aguas	Se propone comisión pericial mixta y arbitraje internacional. No se llevan a cabo. A pesar que Chile entrega el territorio a Perú, continúan reclamaciones.
Río Lauca	Cualquier acción de Chile tendiente a la utilización de aguas	Dos comisiones periciales mixtas (1949 y 1960). Entrevistas de alto nivel. Sin resultados positivos. La cuestión del Lauca provoca la ruptura de relaciones diplomáticas en 1962.
Río Silala	Cualquier acción de Chile tendiente a la utilización de aguas	Pacto entre Chile y Bolivia, julio de 2009. Preacuerdo firmado. Bolivia puede disponer libremente del 50% del curso de agua antes que cruce la frontera y puede dar autorizaciones para su aprovechamiento a ambos lados de la frontera.*
Cauquena-Cosapilla	Cualquier acción de Chile tendiente a la utilización de agua	Paralización de trabajos de canalización por parte de Chile

Fuente: Adaptación desde Faundez (2007b).\* Valeria Ibarra M. "Acuerdo de Chile y Bolivia por aguas del Silala a problema al grupo Luksic". Diario La Tercera 5 de julio de 2009.

## 18.2 Metodología para la Identificación de Cuencas Compartidas

Los mapas de cuencas compartidas presentados se obtuvieron a partir de los datos disponibles en la cartografía "Cuencas del Altiplano" de la Dirección General de Aguas, del Ministerio de Obras Públicas. En ella, se listan las cuencas con dicha condición para

<sup>61</sup> Declaración del subsecretario de Relaciones Exteriores de Chile Alberto Van Klaveren. Diario La Tercera 5 de julio de 2009.

<sup>62</sup> "Acuerdo por Aguas del Silala sufriría nuevo aplazamiento" Diario El Mercurio, 14 de Julio de 2009.

las Regiones I, II, III y XV. La revisión bibliográfica anterior se complementó con la información contenida en los siguientes documentos:

- "La gestión de los recursos hídricos compartidos entre la Argentina y Chile: avances logrados 1993 – 1999". J. Marcelo Gaviño Novillo.
- "Atlas of International Freshwater Agreements". Oregon State University and United Nations Environment Programme. 2002.

Los resultados obtenidos tanto de la cartografía "Cuencas del Altiplano" como de la revisión bibliográfica se presentan en Tabla 88, donde se puede identificar que la ubicación de las cuencas compartidas en Chile se reparte entre las regiones más extremas del país, sin representación de regiones de la zona central.

**Tabla 88: Cuencas Compartidas entre Chile y países vecinos.**

Nombre cuenca	Región chilena	Superficie (Km <sup>2</sup> )
Altiplánicas	Región de Arica y Parinacota; Región de Tarapacá	11368,65
Fronterizas Salar Michincha-R.Loa	Región de Antofagasta	2674,92
Fronterizas Salares Atacama-Socompa	Región de Antofagasta	4055,36
Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico	Región de Atacama	15618,22
Río Valdivia	Región de La Araucanía ; Región de los Ríos	10244,18
Río Puelo	Región de los Lagos	3094,19
Costeras entre R. Puelo y R. Yelcho	Región de los Lagos	5765,81
Río Yelcho	Región de los Lagos	4084,31
Río Palena y Costeras Limite Décima Región	Región de los Lagos; Región de Aysén del Gral. Ibáñez del Campo	7731,97
Río Aysén	Región de Aysén del Gral. Ibáñez del Campo	11455,67
Río Baker	Región de Aysén del Gral. Ibáñez del Campo	20944,98
Río Pascua	Región de Aysén del Gral. Ibáñez del Campo	7589,72
Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente	Región de Magallanes y Antártica Chilena	17828,96
Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca	Región de Magallanes y Antártica Chilena	20665,42
Vertiente del Atlántico	Región de Magallanes y Antártica Chilena	6831,78
Tierra del Fuego	Región de Magallanes y Antártica Chilena	42218,46

Fuente: elaboración propia.

La cartografía preparada para representar este producto se pueden revisar los planos adjuntos a este informe.



### **18.3 Derechos de aprovechamiento compartidos con otros países**

Según datos de la DGA, ya en 1999 la empresa española Endesa era poseedora del 81% de los derechos de aprovechamiento no consuntivos del país (Larraín 2006), y actualmente esta empresa sería dueña del 96% en la región de Aysén (Santibáñez y Orrego 2009).

Así mismo, para el año 2002, el 83% de las empresas sanitarias del país estaban controladas por consorcios transnacionales, quienes (en conjunto con algunas otras empresas privadas nacionales) son poseedoras de más del 90% de los derechos de aprovechamiento destinados al agua potable en Chile (Larraín 2006).

Para el caso de usos extractivos como la minería, la situación también es preocupante en la zona norte del país, donde, por ejemplo, las comunas de Huara, Iquique, Pica y Pozo Almonte (Región de Tarapacá) tienen el 60% de los derechos de aprovechamiento en manos de las empresas transnacionales Noranda, BHP Billington, Anglo American y Falconbridge, todas de capitales extranjeros (Neira 2004).

Como ya se ha explicado en capítulos anteriores, la asignación de derechos de aprovechamiento de agua a los usuarios que lo solicitan, transforma a este recurso en un bien privado, que puede ser usado a perpetuidad y transado en el mercado como tal. Por lo tanto, el hecho de que la gran mayoría de los derechos de aprovechamiento están en manos de capitales extranjeros significa, virtualmente, que el agua ya no le pertenece a Chile, e incluso, dado el actual sistema de administración del recurso hídrico, que no existe manera de recuperarla excepto su compra en el mercado.

En consecuencia, Chile no solo comparte cuencas hidrográficas con otros países, sino que también comparte la gran mayoría de la propiedad del agua que corre por sus ríos, que están en territorio chileno, con empresas extranjeras que tienen la facultad legal de ocupar el recurso como mejor estimen conveniente, haciendo uso del derecho a la propiedad privada que Chile asegura en su constitución.

Esta situación representa también un asunto de seguridad nacional, considerando que el agua es un recurso escaso en todo el mundo y que muchos expertos vaticinan conflictos de relevancia por su posesión.



## 19 ACCESO AL AGUA EN CHILE

### 19.1 Conflictos por acceso al agua en cuencas piloto

En este capítulo se presenta una descripción del tipo de conflicto por acceso a derechos de aprovechamiento de agua desde la perspectiva de los usos productivos que usan el agua como insumo. Bajo este marco de análisis se pueden presentar conflictos dentro de una misma actividad productiva (agricultura-agricultura) o entre actividades productivas (agricultura-minería por ejemplo) y por razones de cantidad de agua como por su calidad, lo que varía de acuerdo a la cuenca estudiada. La información relevada en este capítulo se obtuvo tanto de fuentes secundarias de información, como de las entrevistas realizadas a miembros de la DGA y de Organizaciones de Usuarios de agua en cada una de las cuencas piloto de este estudio.

#### 19.1.1 Cuenca del río Lluta

La cuenca del río Lluta, según la información secundaria disponible y según la percepción de los representantes de usuarios de aguas y de la DGA entrevistados, no presenta mayores conflictos por acceso al agua, debido a que no tiene problemas de disponibilidad física, es decir el río normalmente presenta un flujo de agua durante todo el año. Por otro lado, la contaminación del agua es el mayor problema identificado, y aquellas actividades que amenazan con contaminar aun más las aguas – aunque esto no signifique disminuir su disponibilidad - generan conflictos entre usuarios.

Este es el caso de la Minera Minsur, de origen peruano, que aun no inicia sus operaciones, pero que prevé obtener 17 toneladas de oro en Pucamarca (Perú), donde invertiría US\$70 millones en su construcción. Según el gerente adjunto de Minsur, el proyecto requerirá entre 20 y 30 litros de agua por segundo de los pozos, que si bien forman parte de la cuenca del río Azufre (cuenca compartida), no tendrían ninguna relación con el río Lluta. La empresa encargó un estudio ambiental en junio del 2004 en la zona chilena vecina a la minera, que concluye que el proyecto Pucamarca no causará impactos negativos en el medio ambiente o población del país (Proyectos y Estudios Mineros 2009).

Sin embargo, la Dirección de Aguas de Chile ha señalado que la utilización de agua por parte de la minera podría cambiar la cantidad y calidad de aguas que llegarán al río Lluta, el cual permite el riego de unas 2.700 hectáreas agrícolas en el norte del país, generando la resistencia de los agricultores del sector (Proyectos y Estudios Mineros 2009).

Otro problema relativo al conflicto por acceso al agua se recoge de un estudio elaborado por DICTUC y DGA (2008) que menciona que la población de la cuenca está preocupada por las descargas de agua servidas realizadas desde la localidad de Putre, sin embargo las concentraciones de materia orgánica medida son bajas y existe una dilución tal que permite que aguas abajo el impacto sea prácticamente nulo, de todas formas, en el futuro existe el plan de construir ahí una planta de tratamiento de aguas, lo que debería solucionar completamente el problema.



### 19.1.2 Cuenca del río Loa

En esta cuenca existe un conflicto relacionado con el mundo indígena y agrícola versus grandes empresas mineras y la empresa sanitaria Aguas Antofagasta. El mundo agrícola-indígena siente que empresas mineras y Aguas Antofagasta los están perjudicando debido a que las aguas que estas empresas extraen "dañarían" las aguas a la que los usuarios tienen acceso<sup>63</sup>.

En esta disputa se aprecian dos críticas importantes. La primera tiene relación con la distribución de las aguas que realiza la DGA, donde el sector agrícola-indígena piensa que no se debió entregar derechos de agua a las empresas involucradas. Por otro lado, se piensa que estas empresas sacan más agua de la que tienen derecho, sin embargo las empresas, según datos de medidores instalados en las obras de captación de las aguas, no sacan más agua que la que les corresponde<sup>63</sup>.

El sentimiento que los agricultores e indígenas tienen es que los perjudican, piensan que las empresas deben sacar agua de mar para ser desaladas como lo hace Aguas Antofagasta y Minera Escondida<sup>63</sup>.

Muchos agricultores han visto afectado su acceso al agua después que dichas empresas han hecho uso de sus derechos. Junto al problema de la cantidad de agua, les afecta su contaminación a causa de los desechos mineros y debido a la presencia de arsénico por las características naturales de la zona (Cademartori 2007)

Según el documento "Estrategia regional de recursos hídricos región de Antofagasta" (DGA 2008), que se refiere a un diagnóstico realizado por la DGA y otros servicios públicos como el Ministerio de Agricultura, CONAMA, SAG, CONAF y DOH, entre otros, existen diferentes problemas relacionados con el uso de los recursos hídricos, que están afectando el desarrollo eficiente de éstos. Estos problemas están asociados principalmente a la falta información, o bien, a la poca sistematización de los estudios existentes relacionados con la oferta, la demanda y la gestión del recurso.

Un conflicto actual sobre el acceso al agua indígena lo plantea el Consejo Nacional Aymara que plantean en un pronunciamiento público que la inclusión de las aguas y tierras en la reforma constitucional propuesta por el Gobierno, "demuestra una expresa eliminación sobre la propiedad de los pueblos indígenas, mediante una reforma tácita de la Ley Indígena 19.253 en materia de aguas aymaras y atacameñas". Esta situación de conflicto por acceso al agua sería contradictorio con la tendencia en las últimas décadas donde ha habido un desarrollo progresivo en relación a la recuperación, regulación y protección de derechos indígenas sobre el agua. En especial, a partir de la promulgación de la Ley 19.253 señalada por el consejo Nacional Aymara sobre Protección, Fomento y Desarrollo de los Indígenas de 1993 y con las reformas al Código de Aguas aprobadas en el año 1992 (Yañez y Gentes 2005).

---

<sup>63</sup> Comunicación personal con Marco Soto, Ex Director regional de aguas, 11 de mayo de 2009.



### 19.1.3 Cuenca del río Copiapó

El río Copiapó se encuentra declarado agotado. La entrega de derechos de aprovechamiento, a diferentes usos productivos, por una cantidad de agua mayor a la oferta natural hace que los conflictos por el acceso al recurso hídrico sean complejos de resolver, y las consecuencias sociales del agotamiento se plasmarán en el corto plazo. Éste es el mayor problema de la cuenca, y afecta a todos los habitantes de la misma, tengan o no derechos de aprovechamiento.

Desde la perspectiva de la Coordinadora por la Defensa del Agua y el Medio Ambiente de la Región de Atacama<sup>64</sup>, este conflicto comienza desde el establecimiento del Código de Aguas de 1981, momento desde el cual los derechos de aprovechamiento otorgados para las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca habrían comenzado a entregarse sin mayor discriminación del uso al que se destinarían ni proyección de las capacidades efectivas de los acuíferos y cauces, lo que finalmente desembocó en la actual sobredemanda de los recursos hídricos del Copiapó. Esta situación se ve agravada por la tecnificación del riego en la agricultura, que ha optimizado el uso de las aguas para estos fines, aumentado la demanda de los recursos al retener el caudal que con otro tipo de técnicas hubiese retornado naturalmente al sistema. Esto causa resquemor entre los usuarios, ya que se esperaría que en una situación de escasez, como en la que se encuentra actualmente la cuenca, estos recursos sean devueltos al cauce o sirva para la recarga del acuífero, pero que sin embargo, son usados para el riego de más hectáreas<sup>65</sup> o bien los derechos son vendidos, utilizando el sistema de mercado en que se basa el Código de Aguas de 1981.

Por otro lado, los mejores suelos para el uso agrícola de la cuenca se han entregado para ser urbanizados (alrededor de 400 ha<sup>64</sup>), los que eran usados para riego tradicional, donde el 60% o 70% de las aguas se infiltraban a las napas donde están los pozos de agua potable (800 litros aproximadamente<sup>64</sup>), recursos que serán utilizados para otros fines como el agrícola o minero, aguas arriba o aguas abajo, disminuyendo la recarga a un 10%<sup>64</sup>.

Específicamente, uno de los conflictos por el acceso al agua más importantes de la zona y que grafica su situación, es la pugna judicial en que se encuentra actualmente la Junta de Vigilancia del Río Copiapó (JVRC) con la Sociedad Agrícola Hacienda Manflas Limitada, por la "ilegítima extracción de aguas desde el río Manflas y por el delito de usurpación de agua" por parte de dicha sociedad agrícola, (JVRC 2009). El conflicto se produce porque la JVRC reconoce que la Hacienda Manflas posee derechos por un caudal de 4,71 L/s, mientras que la aludida indica que posee derechos inmemoriales por 300 L/s. En cierto punto, la DGA Regional señaló que el único caudal a ser regularizado es el reconocido por la Junta de Vigilancia<sup>66</sup> y no el correspondiente a los derechos inmemoriales de la hacienda, ya que las obras y plantaciones que demandan dicho caudal fueron adquiridas después de la entrada en vigencia del Código de Aguas de 1981, y debido también a que el caudal extraído influye directamente sobre el Embalse Lautaro, y a que los únicos tributarios del río Copiapó son los ríos Pulido, Jorquera y Manflas; de permitirse la regularización de 300 L/s, tanto superficial como subterráneo,

<sup>64</sup> Comunicación personal con Carlos Araya, miembro de la Coordinadora por la defensa del agua y el medioambiente en Copiapó, realizada el 27 de mayo de 2009.

<sup>65</sup> De hecho, la Ley de Riego 18.450 da beneficios por la incorporación de más hectáreas bajo riego (Ley 18.450 de 1985, Ministerio de Agricultura).

<sup>66</sup> "24 horas cada 14 días, con un quinto del río Manflas, que al aplicar la fórmula que rige la asignación de los derechos originales equivale a 4,71 L/s, consuntivo, permanente y continuo" (JVRC 2007).

habría impactos mayores en la disponibilidad de los demás usuarios de la cuenca (JVRC 2007). El problema se agudiza cuando la Corte de Apelaciones de Copiapó resuelve (con fecha 4 de marzo de 2009) dejar sin efecto la resolución de la DGA que otorga derechos consuntivos, permanentes y continuos por 4,71 L/s, con lo cual desconoce que dicho monto sea el asignado a la Hacienda Manflas (JVRC 2009).

Dado que la minería es la fuente de ingresos económicos más importantes para la Región de Atacama, así como también a nivel nacional, y que muchas inversiones se están estancando por la falta de recursos hídricos para ponerlos en marcha, una de las preocupaciones más importantes de las autoridades es evitar esta situación -junto con asegurar el abastecimiento de agua potable para la población- lo que podría solucionarse con la instalación de "fábricas de agua", específicamente de desaladoras, a través de un sistema de concesiones. El proyecto busca que "haya una iniciativa privada de concesiones, en que empresas presten servicios de provisión de aguas para distintos usos con diversas calidades: dulce para el consumo humano, con cierta calidad para agricultura y de menor calidad para las faenas mineras. O fábricas de agua que permitan a los procesos mineros hacer *swap* (transferencias) de derechos de agua" (Rodrigo Weisner, Director General de Aguas, citado por La Tercera 2009a). Sin embargo, esta iniciativa se vuelve menos rentable para aquellas empresas mineras que se ubican en la Cordillera de los Andes, ya que el costo de bombear las aguas desaladas desde la costa puede alcanzar US\$ 1 millón el kilómetro (La Tercera 2009a). De todas formas, puede representar una buena alternativa para que la población de la cuenca asegure su acceso al agua para usos domésticos, como ha ocurrido en Arica y Antofagasta.

#### 19.1.4 Cuenca del río Limarí

La cuenca del Limarí, como ya se señaló es una cuenca que en relación a aguas superficiales se encuentra declarada agotada (Resolución DGA (E) Nº 72), es decir todos los derechos de aprovechamiento se encuentran otorgados. Entre los usuarios, según los entrevistados "no hay mayores conflictos"<sup>67</sup>, y cuando estos se producen, es principalmente en los períodos de mayor escasez (en este caso se hace referencia a la sequía del año 1997<sup>68</sup>).

Sin embargo, en el último tiempo se han presentado conflictos severos entre organizaciones de usuarios en relación al uso del agua y al ejercicio de derechos de aprovechamiento que perjudicarían los derechos de terceros de otra organización, como es el caso del conflicto entre la Junta de Vigilancia del río Huatulame y la Asociación de Canalistas del embalse Cogotí. Este conflicto requirió de la intervención de parte de la DGA y llevar al sistema judicial las demandas de las partes (Fuster *et al* 2009).

Hay otras situaciones conflictivas entre organizaciones de usuarios dadas por el cobro que realizan éstas por conducir las aguas que son transferidas de una organización a otra cuando hay compra de acciones<sup>69</sup>. Esta situación que queda regulada por los estatutos internos de las organizaciones actúa como una limitante a la libre transacción de derechos de aguas prevista en función de la ley de aguas.

<sup>67</sup> Entrevista Personal Sr. Carlos Galleguillos, DGA Región de Coquimbo.

<sup>68</sup> Entrevista Personal Sr. Manuel Muñoz, Administrador Junta de Vigilancia río Grande Limarí y sus afluentes.

<sup>69</sup> Entrevista Personal Sr. Cipriano Miranda, Administrador Asociación de canalistas del Embalse Cogotí.



El conflicto más recurrente entre usuarios de una misma organización es el robo de agua que se produce desde los canales matrices y secundarios, e incluso en las compuertas, lo que se ha ido resolviendo en la medida que se implementan sistemas de distribución de agua con mediciones como es el caso de vertederos que se manejan desde la administración<sup>68</sup>.

En este sentido, la tendencia se refleja en comentarios como que "en el futuro se verán las asociaciones litigando para proteger el agua de sus asociados"<sup>69</sup>.

### **19.1.5 Cuenca del río Maipo**

Los conflictos más importantes detectados hasta este momento en la cuenca del río Maipo son derivados de acciones contaminantes, provenientes principalmente de la agricultura y la industria. También las actividades extractivas de áridos de grandes empresas del rubro comprometen sectores importantes del cauce, los que generan daños a la infraestructura, además de contribuir al aumento de sólidos totales en el agua.

Situaciones de conflictos por derechos de aprovechamiento de aguas superficiales son escasas. Actualmente existe un conflicto por supuestos efectos en los caudales correspondientes a derechos de aprovechamiento de regantes de aguas provenientes del río Mapocho. Esto se está dando por las captaciones de aguas servidas relacionadas con el proyecto Mapocho Urbano Limpio, las que reducen el caudal que reciben los regantes afectados. También se registran problemas de índole similar en el sector de Rinconada de Maipú. A pesar que la aplicación de los modelos hidrológicos de la DGA dejan en evidencia la conexión entre las aguas superficiales y subterráneas, hasta el momento los usuarios de aguas superficiales no han percibido efectos que puedan relacionar con la extracción por sobre los caudales sustentables que ha estimado la DGA. Los conflictos por el uso del agua entre las tres secciones del río sólo se manifiestan en los años deficitarios, siendo éstas prácticamente las únicas ocasiones en que hay reuniones de coordinación y de resolución de conflictos, según manifestaron los entrevistados de la Asociación de Canales del Maipo.

Esta situación puede sufrir un giro importante, por efecto de la posible puesta en marcha del proyecto Alto Maipo de Aes Gener. Los técnicos de la Asociación Canales del Maipo señalaron que las dimensiones de la hidroeléctrica de paso la convierten en la práctica en un embalse, con las consecuencias en términos de seguridad de riego para los regantes de la cuenca.

En cuanto a las aguas subterráneas, los conflictos existentes se dan entre usuarios legalmente constituidos (pozos profundos) y aquellos que hacen usufructo de pozos someros o norias, las que no requieren de autorización, de parte de la autoridad, ya que se consideran de uso doméstico.

Esta situación también deberá tender a cambiar fuertemente, en la medida que avance el otorgamiento de derechos vinculados al título 4° transitorio, ya que todos éstos superarán los niveles de extracción considerados sustentables. Además, el hecho de permitir el uso de pozos que no cumplen las distancias reglamentarias a cauces y a otros pozos, también tendrá que necesariamente constituirse en un foco de conflictos.



### 19.1.6 Cuenca del río Maule

Esta cuenca ha sido un ejemplo de estudio sobre conflictos intersectoriales entre la agricultura y la Hidroelectricidad (Bauer 2004). Siendo la vocación histórica de la cuenca la agricultura, con más de 200.000 ha de riego, con alrededor de 10.000 regantes, desde fines de la década del 40 se empieza a generar hidroelectricidad al darle un doble propósito a la Laguna del Maule. Luego en los ochentas bajo el Código de aguas actual, se construye la represa Colbún con los primeros derechos no consuntivos de agua, que no podían perjudicar los derechos de terceros ya constituidos, haciendo referencia a los derechos destinados al uso agrícola. Luego la Construcción de la central Pehuenche da inicio a una serie de conflictos que parte por el llenado de este embalse a fines de 1990 luego de un año seco y en período de máxima demanda agrícola. Este conflicto dio paso a años de disputas legales basadas en el argumento de que el Código de aguas no estipulaba prioridad entre usos ni derechos consuntivos y no consuntivos. A este conflicto no hubo corte que diera respuesta definitiva y se propició el arbitraje privado como solución.

En la actualidad, se señala que siempre se presentan algunos litigios en el ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas, ya sea por entorpecimiento en el uso o por la falta de reconocimiento al ejercicio de las servidumbres de acueducto, refiriéndose al mismo caso entre la asociación Canal Maule y la Empresa Pehuenche S.A, filial ENDESA.

Otro conflicto que es expresado por los entrevistados en esta cuenca, se produce a una escala menor al interior de la red de distribución de aguas para riego y tiene que ver con la usurpación de aguas que realizan tanto agricultores como habitantes rurales que le dan uso doméstico a las aguas de propiedad de terceros.

### 19.1.7 Cuenca del río Biobío

A nivel de usuarios del sector agrícola, se presentan conflictos dada la ausencia de una 'Junta de Vigilancia' en la cuenca del río Biobío, por lo que se generan situaciones "abusivas", especialmente durante los periodos de escasez de agua, en los cuales los usuarios de la parte alta de la cuenca someten a sus intereses económicos a los usuarios aguas debajo (Informe TWINBAS D1.2 2005).

A otra escala, se presentan conflictos similares al caso de la cuenca del Maule entre los *Sectores hidroeléctricos y agrícola versus sector turismo*. El impacto que la operación de las centrales y extracción del agua de riego tienen sobre la atracción turística 'Los Saltos del Laja'.

*Caso Canal Laja-Diguillín.* El canal Laja-Diguillín es una obra de infraestructura de riego mayor, que deriva agua desde el río Laja (dentro de la cuenca del Río Biobío) hacia el río Diguillín (fuera de la cuenca) lo que permite incrementar la superficie regada de la provincia del Ñuble desde 49.300 a 63.300 ha. Esto resulta en una importante disminución del caudal del río, principalmente durante el verano, afectando directamente 'Los Saltos del Laja'. Este es un conflicto serio entre los regantes, el turismo y el Estado de Chile (representando por la DGA) (Informe TWINBAS D1.2 2005). Al respecto, el centro EULA se opuso al proyecto debido a que involucraba un trasvasije de agua desde la cuenca del río Biobío hasta la cuenca del río Itata. En el futuro el conflicto se va agudizar con las proyecciones relacionadas con el cambio climático, que han estimado



una disminución de las aguas del Laja de un 40% en los próximos 30 a 40 años. Otro efecto negativo que provoca la captación de agua desde el río Laja, a través de dicho canal, es la disminución de los caudales de dilución en la parte baja del río. Hay acciones legales al respecto<sup>70</sup>.

*Caso Central Trupán.* La central hidroeléctrica de pasada Trupán es un proyecto presentado por la Asociación de Canalistas del Canal Zañartu. Corresponde a la construcción y operación de una central de generación hidroeléctrica de pasada -sin embalse- de 36 MW de generación, utilizando sus derechos de agua permanentes en el río Laja. Su ubicación será aguas abajo de la laguna Trupán, comuna de Tucapel, 20 km al norte del río Laja, en cauces del canal Zañartu. Los derechos de agua pertenecientes a dicha asociación corresponden a 45 m<sup>3</sup>/s del río Laja, sin embargo, históricamente la extracción de agua no supera 24 m<sup>3</sup>/s (algunos dicen que son 12 m<sup>3</sup>/s.). El conflicto radica en que la central está diseñada para 38 m<sup>3</sup>/s con tres turbinas, lo que implica la extracción de una mayor cantidad de agua desde el río Laja para luego descargar en el río Huepil (cuenca río Itata). Dicha situación provocaría, la disminución del caudal del río aguas abajo con el consiguiente efecto negativo sobre los recursos turísticos de 'Los Saltos del Laja' (Asociación de Canalistas Canal Zañartu 2007; Aguirre 2008; La Tribuna sin año).

Otro conflicto en esta cuenca se da entre el sector hidroeléctrico y las Municipalidades, como es el caso relacionado a los reclamos de las municipalidades de Hualqui y Negrete contra Pangué S.A., con respecto a su supuesta responsabilidad en ocurrencia de inundaciones durante el invierno. Las municipalidades culpan a ENDESA argumentando que la empresa no gestiona el agua tomando en cuenta la seguridad de la población aguas abajo, sino que lo hace en función de la generación de electricidad. En el último tiempo, las inundaciones se han sucedido de manera más frecuente. Por otra parte, las inundaciones también obedecen a una mala implementación de políticas de crecimiento urbano, las cuales han permitido ocupar territorios potencialmente inundables<sup>70</sup>.

*Caso Central Hidroeléctrica Angostura.* El proyecto Central Hidroeléctrica Angostura, cuyo Titular es Colbún S.A., es una central de embalse. Administrativamente, el proyecto se localizaría en las comunas de Quilaco y Santa Bárbara, en la Provincia y Región del Biobío. Su emplazamiento estaría en el curso medio del río Biobío, aproximadamente a 63 kilómetros al suroriente de la ciudad de Los Ángeles y a unos 18 kilómetros al oriente de Santa Bárbara y Quilaco. Las comunidades de Quilaco y Santa Bárbara, creen que el tema relacionado con la seguridad de habitar los sectores ribereños sensibles a inundaciones, no ha sido tomado en cuenta por Colbún S.A. Adicionalmente está la preocupación por la pérdida de biodiversidad, recursos naturales y el daño que puede provocar al ámbito patrimonial, cultural y ancestral mapuche-pewenche, inserto en ese sector de la cuenca (Aguirre 2008)<sup>71</sup>.

*Sector hidroeléctrico versus agrícola.* El impacto que la operación de las centrales tiene sobre la disponibilidad de agua para los regantes. El problema ocurre principalmente en verano y se debe principalmente a que las políticas de gestión se rigen bajo una óptica sectorial. De manera general, los volúmenes utilizados en la cuenca y que se usan en

<sup>70</sup> Comunicación personal con el Dr. Oscar Parra, Director del Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. 19 de mayo de 2009.

<sup>71</sup> Observación de organización "Aguas Libres" Quilaco, realizada al Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Central Hidroeléctrica Angostura. Disponible en <https://www.e-seia.cl/archivos/3036.PDF>



una diversa cantidad de actividades son gestionados de acuerdo a la dinámica propia del sector demandante<sup>70</sup>.

*Caso Central Trupán.* Según la Asociación de Canalistas del Laja la utilización de mayores caudales por parte del canal Zañartu produciría un importante déficit del agua de riego. Adicionalmente los representantes del canal Zañartu responsabilizan, en parte, a la operación del Canal Laja-Duiguillín por la escasez de agua.

### **19.1.8 Cuenca del río Baker**

En esta cuenca se presenta un conflicto judicial entre el sector hidroeléctrico versus Estado de Chile. La DGA recientemente rechazó la asignación de nuevos derechos de agua a la empresa Hidroaysén. La razón esgrimida por la DGA apunta a que no es legal conceder derechos de aguas que interfieran derechos de propiedad constituidos con anterioridad y que, por esta misma razón están protegidos por ley<sup>72</sup>. La empresa alega "omisiones que no se ajustan a derecho" pudiendo apelar ante la misma DGA, la Corte de Apelaciones o incluso la Suprema.

Asociado a este mismo caso se presentan conflictos sociales entre el sector hidroeléctrico y grupos conservacionistas que a través de campañas nacionales e internacionales, se oponen a la construcción de represas hidroeléctricas en la cuenca del río Baker, por parte de ENDESA-Colbún<sup>73</sup>.

Por otra parte, existe en la cuenca una solicitud de derecho no consuntivo, presentada por la empresa AES Gener S.A. en 1990, por un caudal de 1.257 m<sup>3</sup>/s, que impondría una restricción aún mayor para usos consuntivos aguas arriba del punto de captación de agua.

En este contexto, la Dirección General de Aguas determinó un caudal de reserva para la cuenca del río Baker, en virtud del Artículo 147 bis, inciso 3º del Código de Aguas, que establece la facultad del Presidente de la República de disponer la denegación parcial de una petición de derecho de aprovechamiento de agua. En el caso de esta cuenca, la determinación del caudal de reserva se realizó en función de circunstancias de interés nacional (solicitudes de derechos de aprovechamiento no consuntivos y que concurren circunstancias de interés nacional), atendiendo a las características de las localidades aledañas al lago General Carrera, cuyo microclima único en la Región las convierten en zonas particularmente apropiadas para el desarrollo de la agricultura horto-frutícola.

#### ***Conflictos por aprovechamiento de hecho.***

Además de los derechos de agua constituidos legalmente, existen situaciones de aprovechamiento de hecho, asociadas fundamentalmente a los pequeños agricultores. Tal es el caso de los regantes de algunas localidades de la subcuenca del lago General Carrera, como Puerto Ingeniero Ibáñez y Levicán. Asimismo, en la comuna de Cochrane, existen regantes que utilizan el agua sin contar con derechos, y que se han agrupado en un Comité de Derechos de Agua para tramitarlos<sup>73</sup>.

<sup>72</sup> Comunicación personal con Fabián Espinoza, Director Regional DGA Aysén, 22 de Mayo del 2009

<sup>73</sup> Comunicación personal José Pablo Sáez, Director Regional CONAMA-DGA Aysén, 22 de Mayo del 2009



## 19.2 Acceso al agua de usos *in situ* en cuencas piloto

En este capítulo se presenta una descripción del tipo de conflicto por acceso al agua desde la perspectiva de los usos *in situ* que pueden existir en cada cuenca piloto. Los usos *in situ* pueden clasificarse en aquellos asociados al hombre en que la actividad es de carácter no consuntiva del agua y que genera un bienestar social, sociológico y estético al existir una relación directa o indirecta con ella, como son el caso de la actividad turística, deportiva, recreacional de baño y disfrute escénico y aquel uso de carácter cultural asociado a las etnias y usuarios tradicionales. Por otro lado, son parte de los usos *in situ* aquellos asociados al uso ambiental que están relacionado con la sustentabilidad de un determinado ecosistema (Universidad Austral de Chile y DGA 2000).

Estos usos comparten el hecho de que son usos a los cuales no se asocia la tenencia de derechos de aprovechamiento de agua aunque en algunos casos su reconocimiento formal ha permitido la asignación de éstos.

### 19.2.1 Cuenca del río Lluta

Según el informe elaborado por CADE-IDEPE (CADE-IDEPE 2004a), en esta cuenca no se desarrollan actividades de acuicultura ni pesca deportiva y recreativa, que son dos usos *in situ* analizados en el estudio. Respecto del uso recreativo sólo se tiene información de su desarrollo en la zona de Poconchile, sector próximo a la desembocadura del río al mar.

El humedal del estuario del río Lluta también representa un uso *in situ* relevante desde el punto de vista ecosistémico, y que actualmente se ve amenazado por la desaladora Desalant y por las actividades recreativas que se realizan en la zona<sup>74</sup>, lo que va en directo desmedro de la mantención del humedal.

La planta desaladora ubicada en la zona costera de la cuenca se reconoce como una fuente de conflicto, ya que las descargas de los residuos de sal que se extraen del agua no siempre son desechadas al mar, como está establecido, y en ocasiones son eliminadas directamente en el cauce, lo que podría aumentar la conductividad eléctrica de las aguas (DICTUC y DGA 2008)<sup>75</sup>. Esto representa una amenaza para el estuario del río Lluta que se encuentra aguas abajo, considerado un importante reservorio para la biodiversidad, y aunque no existe un perjuicio a un usuario propietario de derechos de aprovechamiento de agua, si existe una limitación en el acceso a agua de adecuada calidad por parte del medio ambiente, entendido este como un usuario, lo que genera conflicto para aquella parte de la población interesada en mantener el humedal, y que actualmente se pretende proteger transformándolo en un santuario de la naturaleza (Ortega *et al.* 2007, DICTUC y DGA 2008).

Por otro lado, dado que la disponibilidad actual de agua en los cauces superficiales de la cuenca del Lluta prácticamente no presenta problemas de agotamiento físico, también es posible afirmar que existe un caudal ecológico que permite sostener otros ecosistemas acuáticos, propios de la cuenca, capaces de soportar los grados naturales de

<sup>74</sup> A pesar de que actualmente existe un decreto del Ministerio de Defensa que lo prohíbe (Chilecológico.cl 2008). <http://www.chilecologico.cl/en-peligro-humedal-del-rio-lluta-en-arica/201>

<sup>75</sup> De todas formas, mediciones realizadas aguas abajo de la descarga indican que el impacto sobre la calidad de las aguas es pequeño (DICTUC y DGA 2008)



contaminación que trae el agua. Desde este mismo punto de vista, en la cuenca existen varios bofedales en su zona cordillerana, los que cuentan con suficientes recursos hídricos para subsistir, pero que sin embargo se ven amenazados por la contaminación natural de las aguas, de ahí que sean especialmente vulnerables a cualquier disminución del recurso.

Desde la perspectiva de los usos *in situ* mencionados, la probable construcción del embalse que se proyecta instalar en la zona alta de la cuenca (para más detalle ver capítulo 10.3.3.1 Disponibilidad de aguas superficiales en la cuenca del río Lluta), provocará una alteración del flujo natural de agua y una disminución de los caudales aguas abajo del mismo, por lo que resultará esencial que los valores actuales determinados como caudal ecológico en la cuenca sean garantizados en el futuro para poder mantener “el acceso” al agua de los usos *in situ*.

Por último, la región de Arica y Parinacota reconoce al fomento y desarrollo del turismo ecológico como una de las bases para el desarrollo regional sustentable (Abusleme *et al.* 2007), lo que supone el uso *in situ* de los recursos hídricos, a través de diversas actividades como la observación de paisajes, rafting, trekking, entre otros.

### 19.2.2 Cuenca del río Loa

Según el documento “Estrategia regional de los recursos hídricos, región de Antofagasta”. (DGA 2008), se señala que para las actividades de acuicultura y pesca recreativa y deportiva, la información recopilada detalla que no existen áreas expresamente autorizadas para acuicultura en los ríos de esta cuenca, mientras que no se registran zonas donde se desarrolle pesca recreativa y deportiva.

En lo relacionado al caudal ecológico, dado que este concepto se incorporó el año 2005, los últimos derechos se otorgaron en el año 90, por lo que no incorporaban el concepto. Hay pocos estudios para determinar el caudal ecológico por lo que se ha optado por usar un porcentaje. Cuando los proyectos mineros entran a evaluación ambiental, se les obliga a que respeten el caudal ecológico, que en esos casos corresponde a un porcentaje<sup>76</sup> (10% del caudal medio anual), aunque esto no garantiza el flujo de agua en el río pues aguas debajo de las empresas mineras, estas aguas pueden ser captadas por otros propietarios de derechos de aprovechamiento<sup>77</sup>.

Otro uso *in situ* que constantemente está en conflicto por acceso al agua es el uso cultural-ancestral. En esta cuenca, viven pueblos, atacameños y Aymara que se ven afectados por las extracciones de agua de las empresas de servicios sanitarios, generadoras eléctricas y la gran minería estatal y privada que además contamina las aguas que permiten la vida de cientos de comunidades para quienes el agua no es un recurso, si no parte de su vida. Ejemplo de este tipo de conflicto se puede señalar la explotación de los Géiseres del Tatio –sitio patrimonial de las comunidades indígenas de Toconce y Caspana– por parte de la Empresa Geotérmica S.A. El pasado 6 de junio un centenar de atacameños intentaron realizar en el Tatio un ritual, que tiene por fin pedir disculpas a la Pacha Mama por haberla desprotegido. Así, el Consejo Nacional Atacameño emitió un comunicado, en que acusa al gobierno de Chile de “destruir su

<sup>76</sup> Comunicación personal con Marco Soto, Ex Director regional de aguas de Antofagasta, 11 mayo 2009

<sup>77</sup> Comunicación personal con Pilar Valenzuela, CONAMA, 11 de Agosto del 2009.



territorio y amparar el despojo de su agua...es un atentado a los derechos humanos, a la vida y a la cultura”.

Esta situación competitiva entre cultura y usos productivos ha mantenido un conflicto permanente sobre el acceso a las aguas, que como cualquier conflicto ha seguido un proceso judicial para su resolución. Así a modo de ejemplo en 1995 se inició un proceso de regularización de derechos de aprovechamiento de agua a favor de la Comunidad Indígena Atacameña de Toconce por un total de 100 L/s, de carácter superficial y corriente. Sólo en el 2003 la corte suprema falló a favor de la comunidad recogiendo el argumento de que “es imposible calificar como ilegal el uso de las aguas sin autorización, esto es, sin títulos concesionales, si esa utilización deriva de prácticas consuetudinarias”. En la opinión de la Corte Suprema, el legislador se hizo cargo y, por tanto, “ha optado por reconocer esos derechos ancestrales en el caso de las comunidades indígenas, exigiendo sólo su regularización e inscripción, no para fines de constitución, sino para darles certeza en cuanto a su entidad, ubicación de los puntos de captación de las aguas y precisión de uso del recurso hídrico” (Yañez 2008).

### 19.2.3 Cuenca del río Copiapó

En esta cuenca, no se registra el uso *in situ* de recursos hídricos a través de la acuicultura o pesca deportiva o recreativa, según el informe de CADE-IDEPE de 2004 (CADE-IDEPE 2004c).

Así mismo, dado el agotamiento de los cauces no existe escurrimiento superficial, al menos algunos tramos del río Copiapó se encuentran completamente secos<sup>78</sup>, por lo cual el uso que la población de la ciudad de Copiapó le daba al río para recreación en la temporada de verano ha visto limitado su acceso al agua.

Además, es posible afirmar que no existe una mantención del caudal ecológico en los cursos superficiales de la cuenca, para asegurar la supervivencia los ecosistemas acuáticos. Independientemente de los cálculos de caudal ecológico que se pueden realizar o exigir a los proyectos a través del sistema de evaluación de impacto ambiental, su exigencia no resulta efectiva, ya que el recurso hídrico igualmente es captado por otros usuarios.

Relevante es el caso del humedal costero del río Copiapó, el cual depende del flujo de agua superficial en el tramo final del río y de la recarga de la napa subterránea. Las dos fuentes se han visto disminuidas aumentando la fragilidad de este ecosistema, aumentando además la probabilidad del avance de las aguas subterráneas salinas de la costa hacia el interior (Pérez *et al.* 2009).

### 19.2.4 Cuenca del río Limarí

Los usos *in situ* reconocidos como probables para las cuencas del presente informe corresponden a acuicultura y pesca recreativa y deportiva, en el caso particular de la cuenca del río Limarí no se produce ninguno de estos de lo que se entiende una inexistencia de conflictos en este sentido. El uso recreativo como uso *in situ*, ve limitado su acceso al agua, en este caso, se hace referencia a problemas de contaminación

<sup>78</sup> Comunicación personal con Raúl Valenzuela, DGA Región de Atacama, realizada el 8 de junio de 2009.



(principalmente la planta minera Panulcillo y a la Planta de tratamiento de agua de la ciudad de Ovalle) que afectan la calidad del agua y con ello la vida acuática y ribereña, e impide la actividad recreacional que históricamente se realiza por parte de la gente que vive en Ovalle y que ocupa el río como balneario (Fuster *et al.* 2009b).

En lo referido a caudales ecológicos dispuestos para la cuenca del río Limarí un posible conflicto identificado correspondería a la no cuantificación de estos por haber sido entregados los derechos de aprovechamiento antes de la exigencia legal de cuantificación<sup>67</sup>. Si bien durante todo el año hay un flujo de agua en el río, hay sectores de la cuenca, como en el río Huatulame, en que "se extrae el agua para riego desde el río con bombas sobre explotando el cauce secándolo, lo que ha modificado fuertemente el ecosistema que ahí existía"<sup>79</sup>. Es decir se genera un conflicto entre el uso tradicional dominante de la cuenca y un uso *in situ* como sería el caudal ecológico.

Situaciones como la mencionada en el párrafo anterior se deduce que podrían repetirse en los períodos de mayor escasez pues cuando se hace referencia a estos períodos (principalmente la sequía del 1997) se argumenta un agotamiento físico del río especialmente en su tramo final en que no "pasaba una gota de agua"<sup>68</sup>. Esta situación podría acentuarse en el corto plazo y en otros sectores, en la medida que siga el proceso expansivo de la frontera agrícola asociado a un uso más eficiente y efectivo de los derechos de agua existentes.

### 19.2.5 Cuenca del río Maipo

En la Cuenca del río Maipo, son varios los usos *in situ*, reconocidos oficialmente entre ellos, la Pesca Deportiva se practica principalmente en el embalse El Yeso y en la Laguna de Aculeo. Además existe actividad de pesca deportiva en muchos ríos y esteros tributarios del Maipo y del Mapocho, además de los tramos de alta y media cordillera de los ríos Maipo, Yeso y Volcán, entre otros. Existen eventos de contaminación difusa, registrados cada cierto tiempo, que comprometen la calidad de las aguas de la Laguna de Aculeo, matando incluso los peces. En este caso, la calidad de las aguas está determinando el acceso a este uso *in situ*. No obstante, las disminuciones de caudal en determinados tramos de la cuenca, que se generaría por la entrada en funcionamiento del proyecto Gener (Alto Maipo), determinarán pérdida de acceso al agua para este uso por razones netamente cuantitativas.

Otro uso *in situ* relevante en esta cuenca es el uso contemplativo y baño: Parte importante del uso potencial para esta actividad no es factible de llevar a cabo en la actualidad, debido a la fuerte intervención del cauce del río, por distintas actividades, en especial la extracción de áridos y los desvíos a canales de regadío. La zona del cajón del Maipo, desde San Gabriel a la Obra es fundamentalmente la porción del río que es utilizada para ese uso *in situ*, ocupando una extensión de aproximadamente 1/8 de su longitud. Al igual que el caso anterior este uso, al carecer de derechos de aprovechamiento, se ve fuertemente amenazado por la entrada en funcionamiento de la planta de generación hidroeléctrica del proyecto Alto Maipo. Misma situación enfrenta el uso deportivo (Rafting), que se practica en la zona alta del Maipo, la que justamente podría ser intervenida con una importante reducción del caudal.

<sup>79</sup> Entrevista Personal Sr. Jorge Romero ex administrador Embalse Paloma.



En el caso del Caudal ecológico, no existe una cuantificación oficial para el río Maipo. No obstante, es innegable que hay sectores del río que quedan con niveles tan reducidos, que resultan evidentes los problemas que puedan generarse a escala de las comunidades de flora y fauna y, en general, de los ambientes ecológicos. Estos sectores son los que están inmediatamente aguas abajo de las distintas bocatomas existentes en el cauce. De cualquier modo, luego de un tramo bajo esa condición, el río logra recuperarse, debido a la propia dinámica del cauce. Estos ambientes no sólo pueden verse alterados por la disminución del caudal, sino que también por la intervención del cauce por las empresas areneras, las que desvían aguas, modifican las riberas, movilizan maquinaria pesada y realizan excavaciones de gran envergadura. La cercanía al mercado inmobiliario y las nuevas necesidades de vías y carreteras urbanas, ha motivado un cambio cualitativo en el modo de realizar esta actividad, con las consecuencias señaladas y las que se mencionan más arriba, en cuanto a efectos en infraestructuras de riego.

### 19.2.6 Cuenca del río Maule

En la cuenca del río Maule se reconocen algunos usos *in situ* como el de la Biodiversidad, asociado a la protección y conservación de comunidades acuáticas en las áreas pertenecientes al SNASPE y a los sitios prioritarios para la conservación de la biodiversidad identificados por CONAMA (CADE-IDEPE 2004f). Como se señaló en el capítulo 15.7.2, en la cuenca existen tres áreas bajo la protección del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), que permiten una cierta protección de los ambientes para una conservación y resguardo de las especies presentes en esas zonas.

No se presentan otros usos *in situ* como turismo o acuícola con propiedad de derechos de aprovechamiento por lo cual la conflictividad en este sentido no se refleja en la literatura ni en las entrevistas realizadas. Sin embargo, se mencionan situaciones donde los caudales son insuficientes para la mantención de ecosistemas lo que se evidencia en una "notoria degradación de los ecosistemas en algunos tramos de ríos y esteros, sin embargo los impactos ambientales asociados a la presencia mínima de caudales no han sido analizados en profundidad y no ha habido mayor interés en desarrollar tales estudios"<sup>80</sup>.

### 19.2.7 Cuenca del río Biobío

En la cuenca del río Biobío es posible identificar dos tipos de usos *in situ*: uso recreacional (de contacto directo o indirecto) y uso ambiental (ej. como reserva de agua y como refugio para la flora y fauna; Tabla 89).

Los usos *in situ* corresponden principalmente al turismo y recreación, y pesca deportiva. Los numerosos sitios de interés en la cuenca, tales como Los Saltos del Laja y las diferentes áreas protegidas ofrecen oportunidades para actividades recreacionales tales como la pesca deportiva, natación, fotografía, caminatas y observación de flora y fauna.

---

<sup>80</sup> Entrevista Sr. Nicolas Ureta. Jefe área de calidad de aguas de la Junta de vigilancia del río Maule. 10 de junio de 2009.

En la parte alta de la cuenca, el turismo aventura se ha desarrollado como producto del aumento del interés internacional por esta área.

**Tabla 89: Usos del agua in situ en la cuenca del río Biobío.**

Usos del agua <i>in situ</i> en la cuenca del río Biobío*		
Uso recreacional		Uso ambiental
Contacto directo	Sin contacto directo	
Natación	Esparcimiento	Reserva de agua
Kayakismo	Fotografía	Refugio para flora y fauna
Pesca deportiva	Observación del paisaje	Biodiversidad
Bote motor	Observación de flora y fauna	
Bote a remo	Navegación	
	Caminatas	

Fuente: Universidad Austral de Chile y DGA (2000). \* La identificación de usos *in situ* está basada en el levantamiento sobre los usos no extractivos en sectores representativos de la cuenca.

La ausencia de especificaciones legales en el establecimiento y preservación de los regímenes fluviales y tasa de descarga mínima que soporten el funcionamiento de los ecosistemas dentro del Código de Aguas, ha causado un progresivo deterioro de los ecosistemas acuáticos y sus correspondientes comunidades bióticas, es decir se ha limitado el acceso a un agua de calidad y en cantidad suficiente para su conservación. Al mismo tiempo, se ha afectado la belleza escénica del paisaje junto al río con consecuencias directas sobre varios tipos de uso del agua recreacional. Este esquema de conflicto entre el uso extractivo del agua y los usos *in situ* es recurrente en diversos sectores de la cuenca, siendo algunos sitios representativos el sector inmediatamente aguas abajo del embalse Pangue y el río Laja (Informe TWINBAS D1.2 2005).

Con respecto al primero, la construcción de las centrales Hidroeléctricas en el alto Biobío ha provocado la pérdida del potencial para el turismo de aventura debido a la disminución y/o desaparición de los rápidos y ha alterado los hábitats de las comunidades de vida acuática. En relación a este último impacto, a través de modelaciones se ha demostrado que las condiciones para la reproducción de peces nativos se ven altamente alteradas producto del aumento de los caudales debido a la operación de las centrales hidroeléctricas en el verano (Informe TWINBAS WP5 2007). Además del impacto causado en los sistemas acuáticos, el desarrollo de energía hidroeléctrica ha afectado los ecosistemas terrestres especialmente en la zona del Alto Biobío, a través de la inundación de áreas extensivas de bosque nativo.

En el río Laja, la gran demanda por agua de riego y para la generación de electricidad ha traído como consecuencia eventos en que los Saltos del Laja se han visto afectados por la disminución de los caudales llegando a estar a punto de "secarse". Finalmente, los cambios en el régimen del caudal natural del río han afectado negativamente a las comunidades de peces, disminuyendo su riqueza y abundancia en los últimos años (Habit *et al.* 2007). Adicionalmente, es importante mencionar que los ecosistemas altamente alterados, como los del río Laja, podrían tener una menor capacidad de adaptación o recuperación frente a nuevas alteraciones (Folke *et al.* 2004).

La conservación de un "caudal ecológico mínimo" es necesaria para la protección de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, en la mayoría de las subcuencas los caudales ecológicos respectivos no han sido establecidos.



Situación especial se presenta en conflictos ocurridos entre Centrales hidroeléctricas y población indígena. En 1991, ENDESA S.A. inició la construcción de la primera central hidroeléctrica en el Alto Biobio (Pangué). En 1996, la misma compañía comenzó los trámites para la construcción del hidroeléctrica Ralco. Especialmente la construcción de este segundo embalse produjo uno de los mayores conflictos entre las comunidades indígenas, el sector privado y el gobierno de Chile por el uso del territorio, que para el pueblo mapuche considera todo el medio natural, suelo, agua, flora y fauna (Informe TWINBAS D1.2 2005).

### 19.2.8 Cuenca del río Baker

En la cuenca del río Baker es posible identificar dos tipos de usos *in situ*: uso recreacional y uso ambiental (ej. como reserva de agua y como refugio para la flora y fauna; ver Tabla 90). El "Plan de Ordenamiento Territorial de interés turístico" (2002), muestra la potencialidad del lago General Carrera y sus alrededores, demostrando que se realizan y se podrían realizar diversas actividades relacionadas al agua. Entre ellas se puede mencionar la navegación, ya sea a vela o motor, el remo, el Kayaking y otras actividades recreativas de contacto directo con el agua (Salas 2004). Debe señalarse además, que los cursos de aguas de la cuenca, cercanos a centros urbanos, son constantemente utilizados por las personas que viven en ellos y turistas como lugares de recreación. Por lo tanto en estos cauces se debe considerar este factor a la hora de generar objetivos de calidad.

En cuanto al Uso Ambiental, se han identificado cuatro áreas de relevancia vinculadas al agua en la cuenca (EULA, 2008). Entre éstos se encuentran parcialmente contenidos los sitios priorizados Estepa Jeinimeni - Lagunas Bahía Jara y Entrada Baker - Valle Chacabuco. Estas áreas destacan por su importancia para la conservación de población de especies ícticas nativas, y son las siguientes: a) Lago Verde - Lago Lapparent - Río Ibáñez; b) Chile Chico - Bahía Jara - Lago Jeinimeni; c) Río Baker - Confluencia Río Chacabuco - Río Cochrane - Lago Esmeralda; d) Río Baker y Tributarios aguas abajo del Saltón.

**Tabla 90: Usos del agua in situ en la cuenca del río Baker.**

Usos del agua <i>in situ</i> en la cuenca del río Baker		
Uso recreacional		Uso ambiental
Contacto directo	Sin contacto directo	
Pesca deportiva	Observación del paisaje	Reserva de agua
Natación	Caminatas	Refugio para flora y fauna
Kayaking	Observación del paisaje	
Rafting	Observación de flora y fauna	
Canotaje	Camping	
Bote motor		
Bote remo		
Aguas termales		

Fuente. Adaptación desde Salas (2004) y Universidad de Chile (2008).

Una de las características principales que presenta la cuenca del río Baker es alta calidad ambiental, incluyendo, zonas de la cuenca que no han sido objeto de intervenciones humanas debido a las dificultades de accesibilidad que presentan (Muñoz *et al.* 2006). Esto ha determinado, de manera general y a la fecha, que tanto los usos recreacionales como los ambientales no han enfrentado conflictos por problemas en la calidad del agua, en el mantenimiento de caudales mínimos ecológicos y niveles de lagos y acuíferos. Sin



embargo, el probable establecimiento de futuras centrales hidroeléctricas, particularmente en el cauce del río Baker, tendrían numerosos efectos sobre los ecosistemas y animales asociados a este río. El primero es la pérdida de hábitat que se produce por el área de inundación directa de bosques, de matorrales y áreas rocosas, además de la muerte de especies. Esto afecta desde los grandes mamíferos como el huemul, hasta pequeñas y desconocidas especies de insectos y anfibios.

Por otra parte, los sectores aguas abajo de las represas sufrirían graves efectos ambientales (pérdida de nichos para la reproducción de peces, inundación de zonas de recreación, etc.) producto de los cambios periódicos en el caudal del río a causa de la operación de las centrales.

Sobre la disponibilidad de agua, la gran mayoría de los caudales de esta cuenca han sido otorgados para uso hidroeléctrico, siendo ENDESA el principal titular de derechos quien en dos derechos que posee dicha empresa en el río Baker presentan magnitudes tales que restringen la disponibilidad de caudales para nuevas solicitudes<sup>81</sup>.

### 19.3 Conclusiones

Como se ha expuesto en los análisis realizados en cada cuenca piloto, los conflictos por acceso al agua en Chile se caracterizan por un nivel de inequidad social y ambiental que el modelo actual de gestión del agua provoca según el mecanismo establecido para el acceso al agua. Dado que prácticamente desde la cuenca del río Biobío al norte no existe disponibilidad de derechos de aprovechamiento, en el escenario actual el acceso al agua está establecido a través de los mecanismos de mercado en el cual el agua se transa en función de su valor económico, creciente y relacionado a la escasez. Este es un factor clave que limita las oportunidades en el acceso al agua de aquellos usos y usuarios de menores capitales o ingresos, y de manera más aguda, de aquellos usos no productivos que no son reconocidos formalmente como posibles propietarios dentro de este sistema.

Un segundo elemento reconocido como factor limitante en el acceso al agua es la disponibilidad de información a la cual pueden acceder los diferentes usuarios, así por ejemplo, comunidades indígenas y campesinos, normalmente de niveles educacionales bajos, espacialmente ubicados en sectores rurales distantes de los centros de transacción de las aguas, serían quienes se encuentran mayormente limitados en el acceso a la información para pretender acceder a nuevos derechos de aprovechamiento de agua (Fuster 2006).

Así mismo, los usos *in situ* si bien existen, son en muchos casos difíciles de identificar ya que no existe información formal que estudie sus dinámicas en las cuencas, la información principal, por lo tanto, proviene de entrevistas y de la experiencia de los expertos. De todas formas, es posible identificar que los usos *in situ* en las diferentes cuencas piloto tienen diversos conflictos para acceder al agua, especialmente aquellos relacionados con las funciones ecológicas de los ecosistemas, donde en muchos casos no existe un caudal mínimo de reserva que lo permita, y aquellos relacionados a los usos tradicionales o ancestrales que no ven respaldo en la actual forma de gestionar las aguas.

---

<sup>81</sup> Comunicación personal con Camila Teutsch, Encargada Estrategia Integrada de Cuencas CONAMA-DGA Aysén, 22 de Mayo del 2009.



## **20 VALORACIÓN ECONÓMICA DE POLÍTICAS RELACIONADAS CON EL AGUA**

### **20.1 Métodos de valoración económica para la evaluación de políticas relacionadas con el agua**

#### **20.1.1 Antecedentes Generales**

El agua es un recurso natural escaso y en la actualidad se está transformando en un bien cada vez más valioso en términos económicos y en términos de necesidades sociales tal como se ha planteado en instancias internacionales como en las conferencias de Naciones Unidas de Dublín en 1992, Río de Janeiro y la Agenda 21 el mismo año, Bonn 2001 y Johannesburgo el 2002.

La Declaración Ministerial del Segundo Foro Mundial del Agua (La Haya, 2000) indica que "con el fin de gestionar los recursos hídricos de tal manera que refleje sus valores económicos, sociales, medioambientales y culturales para todos sus usos, y avanzar hacia el establecimiento de cuotas para los servicios del agua que reflejen el costo de sus provisión. Este enfoque deberá tomar en cuenta la necesidad de equidad y las necesidades básicas de los pobres y de las personas vulnerables" y en la Declaración Ministerial del Tercer Foro Mundial del Agua (Third World Water Forum, 2003) se señala que: "Se deben recaudar fondos mediante la adopción de criterios de recuperación de costos que se adapten a las condiciones climáticas, medioambientales y sociales del lugar, y al principio del 'contaminador paga', prestando debida consideración a los pobres. Todas las fuentes de financiamiento, tanto públicas como privadas, nacionales e internacionales, deben ser movilizadas y utilizadas del modo más eficaz y eficiente posible".

La importancia de valorar económicamente los recursos hídricos radica en el hecho de que la sociedad en su conjunto toma decisiones relevantes asociadas al uso de este recurso en distintos ámbitos. Valorar económicamente el agua en dichas decisiones permite observar la contribución económica de la misma y determinar si la gente acepta inversiones asociadas al agua y si está dispuesta a pagar por los beneficios obtenidos.

Otro tipo de toma de decisión, donde valorar económicamente el agua ayuda, es en la evaluación de alternativas de instrumentos y políticas públicas asociadas al recurso.

La generación de políticas de gestión de recursos hídricos requiere previamente realizar el análisis y evaluación de dichas políticas, y previo a esto, existe la necesidad de valorar adecuadamente los bienes y servicios que las cuencas hidrográficas proporcionan.

En ese sentido el objetivo central de la presente actividad apunta principalmente a proponer una serie de instrumentos económicos que deberían ser parte las propuestas de políticas de carácter económico, social y ambiental que apunten a una Gestión Integrada de Recursos Hídricos del país.

Posteriormente se entregan metodologías de valoración directa o indirecta en términos monetarios de los cambios operados en la calidad y cantidad de los servicios ambientales proporcionados por los recursos hídricos.

## 20.1.2 Instrumentos Económicos

### 20.1.2.1 Valor económico del agua

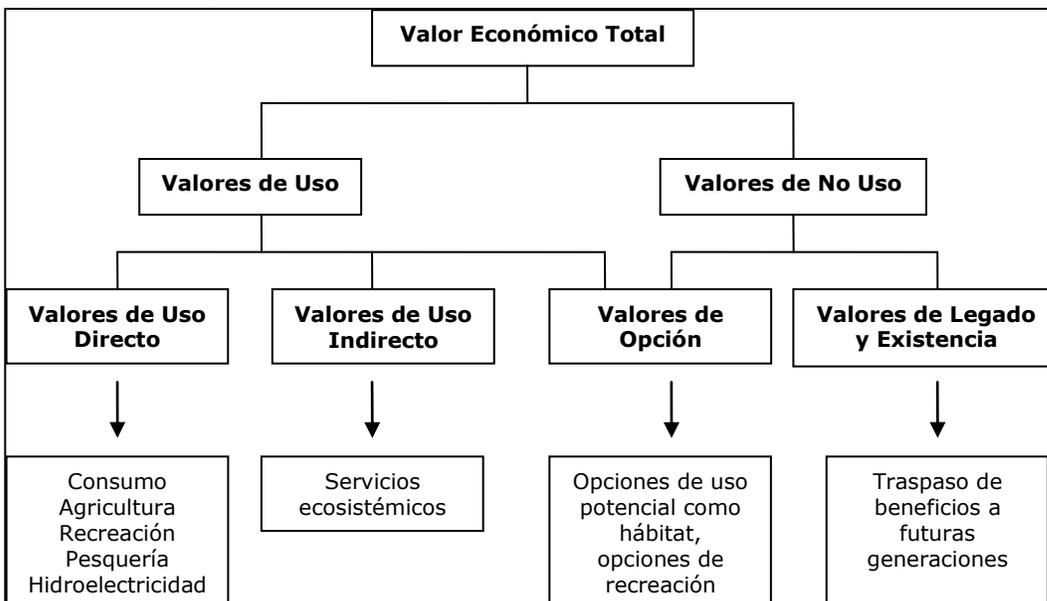
El agua tiene un valor económico que se compone de valores de uso directo e indirecto, valor de opción, y valor intrínseco (valor de existencia y de legado). El valor de uso directo puede ser consuntivo o no consuntivo. Los valores de uso consuntivo corresponden al valor para los usuarios de riego, domésticos, industriales y cualquier otra actividad que consuma agua. Los valores de uso no consuntivo corresponden al valor para los usuarios de generación hidroeléctrica, navegación, recreación y cualquier uso directo de las aguas con la condición de que no se consuma.

El valor de **uso indirecto** corresponde al valor que la sociedad le da al recurso por la función que éste cumple. Son ejemplos de éste, el valor que tiene el agua como hábitat de especies vivas, el valor del recurso por su capacidad de depuración o solvente de sustancias que entran en contacto con ella, el valor del agua por su papel en el ciclo de nutrientes necesarios para la vida, entre otros.

El **valor de opción** del agua corresponde al valor que le da la sociedad al recurso por la opción de poder hacer uso o no del mismo en el futuro. En esta categoría entran entre otros los cuerpos de agua con potencial hidroeléctrico, los cuerpos de agua con potencial turístico, los cuerpos de agua con posibilidad de almacenamiento con fines de riego, doméstica, industrial y control de inundación, entre otros. Pertenecen a esta categoría también aquellos sitios con potencial cultural, histórico, belleza escénica, entre otros.

El **valor intrínseco** del agua corresponde al valor que se le da al recurso por el solo hecho de existir en determinados sitios y por la oportunidad de dejarlo como herencia a las generaciones futuras. En esta categoría se ubica a las bellezas escénicas, sitios culturales e históricos. En la Figura 18 se muestra esquemáticamente los componentes del valor económico total.

**Figura 18: Componentes del Valor Económico Total.**



Fuente: Elaboración propia.



### **20.1.2.2 Factores que afectan la valoración de bienes y servicios proporcionados por las cuencas hidrográficas**

Existen tres fallas que afectan la valoración y provisión de los bienes y servicios que proporcionan las cuencas hidrográficas:

#### **Fallas del Mercado**

La inexistencia de mercados para la mayoría de los "bienes y servicios" derivados del manejo adecuado de una cuenca hidrográfica, tales como la pureza del agua de los ríos y las zonas costeras, hace que no existan algunos de los incentivos necesarios para que los usuarios del suelo hagan un uso óptimo de éste. Por ejemplo, la diversidad biológica es una importante fuente de ingresos en muchas áreas y apoya un sector informal que no se refleja en las estadísticas económicas (Potter and Richardson 1993).

Por otra parte, muchos de los beneficios derivados del manejo de cuencas son bienes públicos, lo que hace difícil su incorporación al mercado. Las características de los bienes públicos no permiten excluir a nadie de su consumo, una vez provisto el bien en cuestión. Asimismo, las actividades productivas de las unidades económicas tienen efectos que son percibidos por agentes económicos ajenos a éstas. Estos efectos se conocen como externalidades y se definen como el caso en que un agente económico afecta la utilidad o las posibilidades de producción de otro, en una manera que no es reflejada en el mercado (Nurick and Richardson 1994).

Un ejemplo típico de una externalidad en el contexto de cuencas hidrográficas es la sedimentación. Cuando un productor utiliza técnicas que causan la erosión acelerada del suelo y, consecuentemente, sedimentos son depositados en un embalse, está afectando de forma negativa la producción de electricidad y/o la disponibilidad de agua para riego. Si bien es cierto que el productor vende su producto en el mercado, no existe un mecanismo de compensación para indemnizar a la compañía productora de electricidad, que se ve afectada con esta situación.

Los ejemplos más comunes de externalidad incluyen los efectos de la contaminación industrial, el agotamiento de los recursos naturales y la modificación de los ecosistemas. Otros casos de externalidades son, por ejemplo, la fumigación de cultivos que afecta cultivos de otros propietarios o la contaminación de los ríos que evita las posibilidades de pesca). Si bien las externalidades que más preocupan son negativas, pueden darse casos en que las acciones de un agente económico sean beneficiosas para otro.

Las externalidades, en la mayoría de los casos, no son consideradas en la toma de decisiones respecto al uso del agua en una cuenca hidrográfica. Quien toma la decisión está interesado en maximizar sus beneficios, y no tiene ningún incentivo para preocuparse de los costos que imponga a otros agentes económicos, salvo que la legislación contemplara la externalidad en cuestión y permitiera demandar por los daños ocasionados de esta forma (Jacobs 1993). La principal causa de que las externalidades no sean consideradas en la legislación, corresponde a la poca o nula valoración económica de los servicios hidrológicos y otros servicios ambientales de las cuencas; a esto se suma la ausencia de compensación a agentes económicos que generan servicios ambientales que benefician a usuarios aguas abajo, y la ausencia de mecanismos para que generadores de daños a terceros asuman costos de prevención y/mitigación.



## **Fallas de política**

Ocurren cuando, por una acción de intervención de la economía vía subsidios, incentivos, descoordinación de políticas, políticas de gestión de servicios erróneas o gestión fragmentada sectorialmente, se distorsionan los precios y por lo tanto no reflejan los valores reales de los recursos, provocando impactos ambientales, sociales y económicos negativos.

## **Fallas institucionales**

Este es el caso en que, por carencias en el propio sistema económico o por falta de infraestructura de acceso a los recursos, deficiencias en el establecimiento de derechos de propiedad, carencia de ordenamiento adecuado del uso del territorio, o marcos regulatorios débiles e inapropiados, se hace imposible la incorporación de dichos recursos naturales o servicios ambientales al ciclo económico.

### **20.1.2.3 Propuesta de instrumentos económicos para la gestión sostenible de los recursos hídricos**

El uso de instrumentos económicos es fundamental en el contexto de una Estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos. El principio de recuperación de los costos de los servicios relacionados con el agua, incluidos los costos medioambientales y los relativos a los recursos asociados a los daños o a los efectos adversos sobre el medio acuático, deben tenerse en cuenta, en particular, en virtud del principio de que quien contamina paga (Nurick and Richardson 1994). En éste, el análisis económico de los servicios proporcionados por el agua y asociado a éste, el análisis de la aplicación de políticas e instrumentos para la gestión de recursos hídricos juegan un rol relevante.

El uso y manejo apropiado y sostenible de los recursos hídricos es vital para garantizar la provisión sana de servicios ambientales que el agua posee. La forma en que dicho manejo se da, puede ser a través de obras de ingeniería, o por medio de cambios en los patrones de uso del suelo que tengan efectos directos sobre el comportamiento del agua en la cuenca (infiltración, escurrimiento superficial, entre otros). Estos manejos, no obstante, tienen costos económicos y sociales. Los instrumentos económicos procuran incorporar los cambios de comportamiento, por la vía de modificar el balance de costos y beneficios a que se enfrentan los agentes económicos en el proceso de intercambio y uso de insumos, bienes y servicios ambientales. Buscan el doble propósito de que los agentes económicos tengan que, pagar el verdadero valor social de los recursos naturales y servicios ambientales de los que hacen uso, y asumir como propios los costos que hacen recaer sobre otros, al desarrollar sus actividades de producción o de consumo.

Los instrumentos económicos pueden generar recursos para financiar el manejo de cuencas y el pago por servicios ambientales aguas arriba. Adicionalmente, pueden generar recursos para financiar acciones de prevención y mitigación de la contaminación del agua, y sirven para alentar al uso eficiente del agua y estimular la producción más limpia.



## Los instrumentos del enfoque regulatorio tradicional

Tradicionalmente, las políticas ambientales de los países desarrollados y, recientemente, de los países en desarrollo, han utilizado las denominadas políticas de “comando y control” para enfrentar los problemas como la contaminación hídrica y el aprovechamiento óptimo de recursos naturales. Éstas fijan ciertos estándares ambientales para que sean cumplidos por el sector productivo, castigando el incumplimiento con multas y otras penalidades.

Los instrumentos tradicionales de regulación ambiental han sido recogidos por la legislación ambiental de nuestro país. Según la Ley de Bases del Medio Ambiente, todo proyecto que pueda provocar daños al medio ambiente debe someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental a través de una Declaración (DIA) o un Estudio de Impacto ambiental (EIA) que debe ser aprobado CONAMA en sus distintos niveles territoriales de acuerdo con las opiniones de los organismos sectoriales involucrados en los permisos solicitados en el EIA.

## El enfoque de incentivos de mercado y sus principales instrumentos

El enfoque de “comando y control” ha sido criticado básicamente por su ineficiencia en lograr los objetivos ambientales al menor costo posible. Se ha postulado que, si se aplican adecuadamente mecanismos de mercado dentro de una política ambiental, se obtienen, por ejemplo, niveles de contaminación hídrica menores a costos menores, se estimula la generación de nuevas tecnologías para reducir la contaminación, se obtiene una fuente de ingresos que el gobierno puede emplear para financiar programas de descontaminación, y se pueden reducir las demandas de información de la agencia reguladora para escoger la manera más adecuada de reducir la contaminación (Pearce y Turner 1995).

Se reconoce que los instrumentos económicos tienen grandes ventajas sobre enfoques más tradicionales de comando y control, pero su correcto funcionamiento depende de la existencia de un marco institucional más sólido y coherente que el usualmente existente en los países en desarrollo. Generalmente los servicios públicos encargados de formular e implementar políticas ambientales en países en desarrollo, carecen de los recursos financieros y el personal idóneo para implementar una estrategia de instrumentos económicos (Sternier 2002).

En general los países con mayor grado de desarrollo institucional son los que han tenido más éxito en implementar mecanismos de mercado como parte de su estrategia ambiental (Harris 2002), y demuestra que su uso es complementario al de políticas más tradicionales, y que no se debe esperar que los instrumentos de mercado suplanten la fijación de estándares y otros controles.

Mientras las regulaciones “comando y control” ordenan a los agentes económicos a controlar ciertas actividades, los instrumentos económicos utilizan señales del mercado para influir en las decisiones de los agentes de manera que éstas sean consistentes con los objetivos ambientales (Field 1995). En ambos casos el gobierno interviene para integrar los objetivos ambientales y las decisiones individuales. Sin embargo, el segundo tipo de políticas brinda mayor flexibilidad a las decisiones de los agentes para reaccionar a los instrumentos ofrecidos y, por lo tanto, incrementa las posibilidades de alcanzar un determinado objetivo de contaminación al menor costo posible (Azqueta 2002).



Los agentes que tengan mayor facilidad en reducir su contaminación lo harán de la manera más rápida y eficiente hasta que el costo marginal de reducir una unidad de contaminación equivalga al costo del incentivo económico utilizado. Así mismo, aquellos que pueden tratar sus emisiones de manera más barata, comerciarán este servicio con otros cuyos costos de tratamiento son mayores.

Los instrumentos basados en el mercado pueden clasificarse en instrumentos tributarios e instrumentos no tributarios, que a su vez pueden afectar precios o controlar cantidades.

### **Instrumentos no tributarios**

Dos son los instrumentos no tributarios que pueden ser usados para propósitos de gestión de recursos hídricos: permisos transables y cargos por usos.

#### Permisos transables

Buscan controlar niveles de emisión agregados o de aprovechamiento. La idea es definir un número total de permisos o cuotas para adaptarse a la capacidad de asimilación del ambiente o ecosistema o al rendimiento de aprovechamiento sostenible de un recurso.

Quienes tengan permisos pueden negociarlos entre ellos o con otros agentes. Quienes logren reducir sus emisiones bajo el límite permitido y ser más eficientes que otras empresas, tendrán el incentivo de adoptar cualquier tecnología o proceso que les permita ser más eficientes y vender su "porción" no utilizada de permiso, mientras que las empresas menos eficientes tendrán incentivos para adquirir estos permisos, con lo que se regularía la cantidad de contaminación emitida.

La creación de permisos transables ayuda a remover las externalidades implícitas en la ausencia de derechos de propiedad o del carácter de bien público del ambiente, ya que crea derechos de propiedad a nuevos recursos o partes, en la capacidad de asimilación y la producción de renta sostenible de los ecosistemas.

#### Cargos por el uso de servicios

Una fuente de financiamiento de mecanismos existentes es mejorar la recuperación del costo de inversiones públicas a través de cargos por uso. Sólo una parte pequeña del costo de agua de riego y energía industrial es pagado por los usuarios; el resto se cubre con la transferencia (subsidio) de recursos financieros escasos de otra fuente, a menudo de usos más productivos. Por lo tanto, reducir el subsidio a la oferta y contabilizar el costo total de generación del recurso a través de un subsidio a la demanda, permitirá un uso más eficiente del recurso, como por ejemplo, del agua para riego.

Estos cargos son pagados por los usuarios de servicios que afectan el medio ambiente (como por ejemplo, los desechos líquidos o el manejo de la basura), y están estructurados de tal manera que permitan reflejar el costo total de estos servicios.

Esto se logra informando a los consumidores de que existe un costo asociado y real a su decisión de usar dichos servicios, y les provee de un incentivo económico para que tomen decisiones ambientales responsables. En Europa, especialmente en Holanda, se usa mucho este servicio para financiar la operación de las plantas municipales de tratamiento de agua, a las empresas y usuarios que contaminan el agua, se les cobra una cantidad constante para tratar aguas servidas.



## Instrumentos tributarios

Tres son los principales tipos de instrumentos impositivos: impuestos ambientales, incentivos tributarios y una combinación de ambos.

Adicionalmente, la discusión sobre la facilidad de aplicar estos mecanismos en países en desarrollo ha llevado a discutir impuestos a ciertos insumos con fines ambientales.

### Impuestos ambientales

Son diseñados con la finalidad de modificar el desarrollo de determinadas actividades o fuentes potenciales de contaminación ambiental. Este tipo de instrumentos incluye los impuestos y subsidios por unidad de contaminación producida y reducida.

Erróneamente se considera que subsidios e impuestos tienen efectos similares en el control de la contaminación. Los impuestos más directos son aquellos que imponen una carga a los montos actuales de emisiones o descargas u otro tipo de disposición de residuos en el medio ambiente.

El impuesto puede ser aplicado al monto total de la emisión o a la emisión que sobrepasa ciertos límites, en cuyo caso se está combinando el enfoque de instrumentos económicos con el de control y regulación.

En un principio, parece equivalente que el gobierno desincentive los comportamientos no deseados cobrando tributos o que fomente los deseados mediante subsidios. Esto se debe a que los impuestos y subsidios en el corto plazo dan el mismo tipo de señal a los agentes, pero en términos dinámicos, tienen efectos diferentes, siendo superiores los de los impuestos. La diferencia se debe a que mientras los subsidios incrementan las ganancias de las empresas, los impuestos las reducen. Por lo tanto, sus implicancias en el largo plazo y en las decisiones de entrada y salida de la industria son diferentes.

En algunos casos, un impuesto a un insumo o a un producto ligado cercanamente a algún problema ambiental, puede ser una alternativa sencilla y efectiva que puede reemplazar con éxito a un impuesto a las emisiones, cuando éstas son difíciles de cuantificar.

Si un impuesto es muy alto, se contamina menos que lo deseado pero es demasiado oneroso para la sociedad; si es muy bajo, la contaminación es demasiado alta y se deteriora el ambiente. No es fácil que el gobierno pueda determinar *a priori* el nivel del estándar deseado ya que no sabe cómo reaccionan las empresas a los impuestos, ni tampoco sabe cuantificar la magnitud del daño ambiental provocado.

El tiempo de aplicación del instrumento es fundamental porque cargos ambientales pueden causar problemas de liquidez en las empresas, donde el costo de adecuación es alto y requiere un tiempo de adaptación de la empresa. Como una forma de evitar esta situación, en Gran Bretaña se anunció un impuesto a los combustibles años antes de que se implementara de forma progresiva, lo que permitía la adecuación.

La principal ventaja del sistema de impuestos por unidad emitida es que consigue que el contaminador internalice los daños que genera con cada unidad emitida de contaminación, y todas las actividades se ajustan de tal manera que el costo marginal de reducir la emisión es igual al impuesto que enfrentan. Otra ventaja, es que reduce los costos de monitoreo, lo que se debe a que el sistema de impuestos incrementa los



costos de no cumplir las reducciones de contaminación fijadas. En efecto, el beneficio esperado de no cumplir un estándar acordado, es la ganancia que se obtiene de no hacerlo, menos el costo o riesgo (usualmente una sanción) de ser descubierto. Si existe un sistema de impuestos, además de la multa por incumplimiento, también se cobra un cargo por cada unidad adicional emitida de contaminación. Por lo tanto, la ganancia esperada de no cumplir se reduce y hay más incentivos para cumplir los límites permitidos.

Una variante de este sistema es el sistema de responsabilidades legales, bajo el cual el contaminador tiene que reducir sus niveles de contaminación ya que de otro modo, asumiría el costo del daño ocasionado.

Una de las críticas a los instrumentos de control de la contaminación se basa en las ideas desarrolladas por Coase (de 1960). Según éstas, en la ausencia de costos de transacción y de comportamiento estratégico, y con derechos de propiedad bien definidos, las distorsiones generadas por las externalidades serán resueltas por medio de la negociación voluntaria entre las partes. En estos casos, un impuesto no sería necesario. El valor de la contribución de Coase consiste en hacer notar la importancia de la asignación inicial de derechos de propiedad para llegar a una asignación eficiente, debido precisamente a la importancia de los costos de transacción en cualquier negociación (Mcleary 1991).

#### Incentivos tributarios

Son diseñados con la finalidad de modificar el comportamiento o desarrollo de determinadas actividades o agentes. Pueden tomar la forma de tratamientos tributarios preferenciales para ciertos productores a través de crédito fiscal, exoneraciones o deducciones. También pueden tomar la forma de beneficios tributarios dados a inversionistas para proyectos, o actividades elegibles. En el pasado, estos instrumentos se han prestado a varios problemas, esencialmente de implementación, en los países subdesarrollados. Adicionalmente, estos esquemas tienen un costo para el tesoro público, que difícilmente puede ser financiado en varios países subdesarrollados. Sin embargo, ya el Banco Mundial ha reconsiderado su uso bajo circunstancias especiales en el caso ambiental.

#### Impuestos a los insumos y productos

Cuando el monitoreo de las emisiones es difícil o muy costoso, los impuestos deben ser colocados sobre insumos o productos que sean más fácilmente monitoreados y que de alguna manera sean un buen indicador de la contaminación que se quiere regular. Si la sustancia contaminante cuya emisión se quiere prevenir está estrechamente asociada a un insumo del proceso productivo, es preferible penalizar el uso de dicho insumo antes que a la propia emisión contaminante.

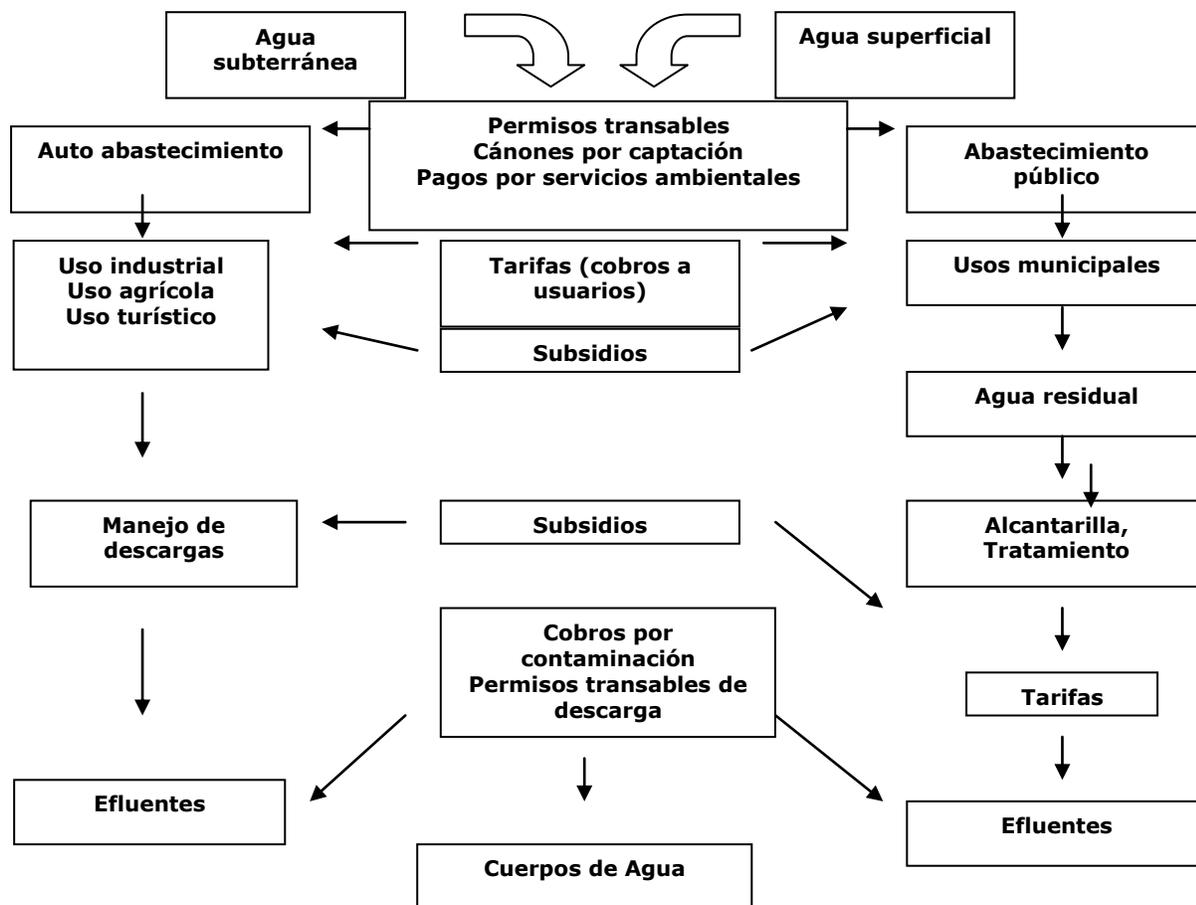
La ventaja de esta modalidad es que el uso del insumo está registrado en la contabilidad de la empresa y es de fácil fiscalización sin necesidad de tener que establecer un complejo sistema de monitoreo. Se conocen como impuestos de presunción, y proveen un incentivo para empresas verdes o limpias a mostrar sus mejoras tecnológicas si con éstas pueden reducir el monto de pagos por un impuesto.

Este tipo de medidas ha sido propuesto anteriormente como un mecanismo para enfrentar el calentamiento global como consecuencia de la intensificación del efecto invernadero por la intervención humana. En lugar de gravar las emisiones de CO<sub>2</sub>, uno de los principales gases del efecto invernadero (GEI), se proponía colocar impuestos a

los combustibles fósiles según su contenido de carbono. Algunos países de la UE han tomado esta alternativa para reducir sus emisiones de GEI.

Finalmente, en la Figura 19 se presentan algunos de los instrumentos mencionados en esta sección y de qué manera se insertarían en los distintos niveles y dimensiones del uso y gestión de los recursos hídricos.

**Figura 19: Ejemplo de instrumentos económicos para la gestión sostenible del recurso hídrico.**



Fuente: Elaboración propia.

## 20.2 Caracterización y valoración de bienes y servicios intangibles proporcionados por cuencas hidrográficas

### 20.2.1 Introducción

La gestión de las aguas normalmente no incorpora aquellos usos que no poseen derechos de aprovechamiento, como los usos ecológicos (mantención de ecosistemas, conservación de la biodiversidad), ambientales (recarga de acuíferos, transporte de materiales, paisajístico, u otros) o los usos no tradicionales (turismo informal, ancestrales, culturales, entre otros).



En Chile las decisiones de gestión de los ecosistemas hídricos están basadas esencialmente en aquellos servicios ambientales para los cuales existen indicadores de mercado, es decir, en servicios para los cuales existe un mercado establecido. Sin embargo, existe un sinnúmero de servicios que no son transados en mercados convencionales y bajo esta lógica, estarían siendo incorporados con valor "cero" en los procesos de toma de decisión, específicamente en los análisis económicos de diferentes alternativas de gestión que afectan a estos ecosistemas.

Entre estos servicios "intangibles" se encuentran, por ejemplo, los beneficios de la conservación de la biodiversidad, la existencia de especies con problemas de conservación, los beneficios de los ciclos hidrológicos, la belleza escénica, y las posibilidades de educación e investigación, entre otros.

Experiencias empíricas en el ámbito de la valoración de servicios ambientales desde una perspectiva económica, han demostrado que los servicios intangibles, pueden hasta triplicar su valor económico a aquellos servicios transados en mercados (Bateman *et al.* 2002). Cabe mencionar también que muchos servicios para los cuales no existe un mercado establecido hacen posible la manifestación de muchos servicios para los cuales sí existen indicadores económicos, siendo por lo tanto, considerados como servicios de soporte o servicios de carácter "primario".

Aunque la experiencia en Chile en el ámbito de la cuantificación de servicios ambientales de carácter "intangible" es escasa, la economía ambiental ha desarrollado y perfeccionado metodologías que permiten obtener valores económicos de una forma robusta y consistente con la teoría económica. Para muchos servicios de este tipo, debido a la inexistencia de mercados, la única forma de cuantificarlos económicamente es a través del conocimiento de las preferencias sociales por los mismos, lo cual requiere el diseño de rigurosas herramientas de valoración que permitan obtener indicadores económicos robustos. El carácter socioeconómico de este tipo de valoración, hace que muchas de estas herramientas tengan el potencial de transformarse en poderosos instrumentos de participación ciudadana, aspecto relevante para el diseño de políticas relacionadas a los recursos hídricos.

Por otra parte, existen estrategias nacionales de gestión de los recursos naturales, como por ejemplo la Estrategia Nacional de Biodiversidad, que explícitamente incorpora el contexto socioeconómico: "la forma como los ciudadanos valoren su propia biodiversidad debería constituir un input de gran importancia para definir futuras estrategias de conservación" (CONAMA 2003).

Del análisis anterior surgen algunas interrogantes, como por ejemplo ¿cómo pueden incorporarse esos valores socioeconómicos en las políticas públicas sobre gestión de los recursos hídricos?

En Chile, tradicionalmente las decisiones de gestión de los sistemas naturales han estado basadas en enfoques directos de valoración, es decir, en datos económicos existentes para diferentes alternativas de gestión. Adicionalmente, se consideran otros indicadores científicos provenientes de distintas disciplinas científicas, tales como número de especies, calidad de agua y niveles de contaminación, entre otros.

La gestión de los recursos hídricos, necesita de indicadores como los propuestos en el apartado 17.9 que permitan tomar decisiones multisectoriales, como por ejemplo, el uso



del agua versus la conservación de la naturaleza. Para la consideración de diferentes opciones de acción, el conocimiento científico puede ser insuficiente para tomar decisiones racionales, ya que dimensiones de normas y valores son necesarias de ser exploradas. Esto último ha sido trabajo de la economía, que ha desarrollado diversas metodologías de valoración que se discuten posteriormente en este apartado.

## **20.2.2 Enfoque metodológico para la identificación de servicios ambientales intangibles proporcionados por cuencas hidrográficas**

### **20.2.2.1 Enfoque**

A nivel de gestión pública, es relevante contar con una metodología de identificación de servicios ambientales que sea aplicable o estandarizable a cualquier cuenca hidrográfica del país. Desde el punto de vista de este trabajo, una propuesta metodológica adquiere sentido cuando tiene una directa conexión con la valoración económica de los servicios identificados, lo cual facilita el trabajo al momento de tener que decidir qué metodologías de valoración económica son aplicables para cuantificar beneficios de servicios ambientales específicos.

Para el análisis de **valores económicos**<sup>82</sup> de diferentes servicios ambientales de carácter intangible proporcionados por cuencas hidrográficas, se decidió utilizar el concepto de **Valor Económico Total** (VET; Pearce and Moran 1994) como marco de referencia *a priori*, para facilitar la identificación de metodologías apropiadas de valoración de beneficios generados por servicios ambientales específicos.

Conceptualmente, el VET de un ecosistema (por ejemplo una cuenca hidrográfica), se clasifica según si proviene del uso *Directo* (*Valor de Uso Directo*) o *Indirecto* (*Valor de Uso Indirecto*) de bienes y servicios proporcionados por el mismo, o si surge de una valoración de *No-Usos* (*Valor de No Usos*). El valor de Uso Directo surge del goce de bienes y servicios que los individuos obtienen indirectamente desde el medio ambiente. En este caso específico, se refiere a los beneficios que los individuos obtienen directamente desde los ecosistemas presentes en las cuencas hidrográficas en estudio. Las personas que viven cerca de ambientes ricos en naturaleza generalmente obtienen de ellos gran parte de los bienes y servicios proporcionados por la naturaleza, pero además también extraen productos como semillas, madera, u otros, para luego comercializarlos en el mercado local, e incluso en otros mercados.

El valor de uso indirecto de un ecosistema natural emerge del goce de bienes y servicios proporcionados por la naturaleza, sin ser explotados o consumidos directamente por sus beneficiarios, y está asociado principalmente a las funciones ambientales de los ecosistemas naturales. A este tipo de servicios se enfoca este capítulo. Estos servicios son de difícil cuantificación monetaria ya que en su mayoría no son transados normalmente en mercados convencionales.

---

<sup>82</sup> Valor económico: El concepto de valor económico tiene su base en la satisfacción de preferencias de los individuos, por lo tanto, en lenguaje económico, todo lo que influye en el bienestar humano, tiene valor económico. De esta forma, las personas no sólo derivan utilidad de bienes o servicios de uso directo como agua potable, alimentación, hidroenergía, u otros, sino que también por aquellos servicios que no necesariamente son transados en mercados convencionales. Por ejemplo, alguien podría estar dispuesto a pagar por asegurar la existencia de especies específicas con problemas de conservación, presentes en las cuencas en estudio. Esta disposición a pagar podría ser un indicador de valor económico de ese servicio.

Los Valores de No Uso (VNU) son más complejos y problemáticos de cuantificar en términos económicos y son normalmente divididos en Valor de Legado (VL) y Valor de Existencia (VE). El VL se refiere a los beneficios que se obtienen de proteger el ecosistema en cuestión para que futuras generaciones puedan hacer uso de él. El VE se refiere a los beneficios obtenidos por los individuos de la mera existencia del ecosistema o por ejemplo, de la existencia de especies animales o vegetales presentes en él, aunque nunca se haya hecho un uso directo del mismo y probablemente no se vaya a realizar en el futuro.

El valor de existencia es, a menudo, ignorado en la gestión de los recursos naturales del país, sin embargo, es uno de los valores que representa una de las principales motivaciones de apoyo popular, o de los ciudadanos, hacia la conservación de los ecosistemas. De esta forma indagar sobre este tipo de valores abre una corriente de investigación que puede ser útil para la gestión de la conservación de diversas instituciones públicas.

De este modo el VET de una cuenca hidrográfica, obedece a la siguiente función:

$$\mathbf{VET = VU + VNU = (VUD + VUI + VO) + (VL + VE),}$$

donde:

- VET = Valor Económico Total de una cuenca.
- VU = Valor de Uso.
- VNU = Valor de No Uso.
- VUD = Valor de Uso Directo.
- VUI = Valor de Uso Indirecto.
- VO = Valor de Opción.
- VL = Valor de Legado.
- VE = Valor de Existencia.

Lo anterior no quiere decir que el VET de cada cuenca es posible de calcular, sino que el concepto es útil como marco de referencia que facilita la identificación de metodologías apropiadas de valoración. En este contexto cabe mencionar que las técnicas de valoración económica existentes en la actualidad son capaces de distinguir y cuantificar Valores de Uso y de No Uso (Existencia y Legado).

El concepto de VET se basa en un concepto económico de valor, y fue introducido y elaborado para los objetivos de valoración económica. Esto implica que no es una vista exclusiva respecto a los valores proporcionados por la naturaleza, sin embargo, proporciona un marco conceptual adecuado para la clasificación de valores proporcionados por ecosistemas hídricos.

**Tabla 91: Servicios ambientales intangibles que pueden ser encontrados en una cuenca hidrográfica.**

Servicio	Categoría de clasificación dentro del VET
Turismo: posibilidades de contemplar belleza escénica a nivel de paisaje	Servicio de Uso Directo
Beneficios derivados de la fauna: - Turismo a nivel de especies: avistamiento de	Servicio de Uso Directo



Servicio	Categoría de clasificación dentro del VET
fauna - Pesca deportiva - Beneficios derivados de la conservación de especies específicas - Posibilidades de educación e investigación asociada a la conservación de la diversidad de especies	Servicio de Uso Directo Valor de existencia (No Uso)  Valor de Uso Directo
Beneficios derivados de la flora y vegetación: - Turismo a nivel de especies y formaciones vegetales (belleza escénica) - Valor filogenético de plantas endémicas - Hábitat de fauna endémica y amenazada - Protección de cauces y laderas - Control de erosión - Purificación del agua	Valor de Uso Directo  Valor de Uso Indirecto Valor de Uso Indirecto  Valor de Uso Indirecto Valor de Uso Indirecto Valor de Uso Indirecto
Agua: - Beneficios de proteger la disponibilidad de agua para diversos usos futuros - Recarga de acuíferos - Transporte de materiales - Contemplación del paisaje (valor paisajístico) - Mantenimiento y Conservación de Ecosistemas - Beneficios derivados de los ciclos hidrológicos	Valor de Opción  Valor de Uso Indirecto Valor de Uso Indirecto Valor de Uso Directo Valor de Uso Indirecto Valor de Uso Indirecto

Fuente: Elaboración propia

### **20.2.2.2 Criterios para la selección de servicios ambientales a ser valorados económicamente**

Como fue mencionado, los ecosistemas hídricos proporcionan un sinnúmero de servicios ambientales que tienen relevancia para el bienestar social, aunque no todos son de fácil cuantificación en términos económicos, dada la naturaleza intangible de muchos servicios y funciones ecosistémicas. Por otra parte se produce un efecto de encrustamiento entre muchos servicios, es decir, es difícil separar o aislar servicios ambientales para su posterior valoración económica.

A continuación se muestran algunos lineamientos para tomar decisiones respecto a qué servicios intangibles debieran ser valorados en términos monetarios:

- El servicio debe tener relevancia desde el punto de vista de la demanda social.
- El servicio debe depender directamente del agua de los ecosistemas en estudio para manifestarse: esto requeriría analizar la factibilidad de que el servicio sea afectado por cambios marginales en la calidad y cantidad de agua de los ecosistemas hídricos.
- El servicio debe ser relevante para la gestión de la conservación del país y estar relacionado con el agua del o los ecosistemas. Si bien la cuantificación de los beneficios de este tipo de servicios es compleja, es posible valorarlos a través de técnicas de Preferencias Declaradas.



### **20.2.2.3 Aproximación metodológica para valorar mejoras en la calidad del agua**

La valoración monetaria de cambios en la calidad del agua es una tarea compleja. Valores ambientales no son a menudo reflejados en mercados debido a su naturaleza de "bienes públicos". Adicionalmente, no existe una unidad estandarizada para la calidad del agua. Esto comprende un número de parámetros químicos, físicos y biológicos, incluyendo la morfología del río. Incluso, aunque haya índices de calidad de agua disponibles, la percepción de los constituyentes de la calidad del agua por parte de expertos y del público en general tiende a diferir. Además, los cambios en la calidad del agua son medidos usando clasificaciones bioquímicas y biofísicas que son propensas a cambiar dado que los procedimientos científicos están constantemente evolucionando y actualizándose. Esto no representa un problema para la valoración en sí misma, pero propone un desafío para estimaciones de valor que sean relevantes y útiles en el ámbito político.

En este ámbito el objetivo general del ejercicio de valoración sería encontrar el valor económico de no mercado de cambios en la calidad del agua, por ejemplo una mejora respecto a la situación actual. La valoración de no mercado está basada en las preferencias de los individuos por esos cambios y los valores son medidos:

- a) a través de un procedimiento directo de elicitación<sup>83</sup>, o
- b) indirectamente a través del análisis de transacciones en mercados donde se asumen que las preferencias de los individuos influyen en el precio de un bien de mercado.

El valor de toda la población afectada es establecido por una transacción de intercambio reflejada en la suma del valor de cada persona por cambios ambientales, o en otras palabras, el área bajo la curva de demanda del bien o servicio que es mejorado.

#### **Tipos de usos**

El Valor Económico Total basado en mejoras en la calidad del agua puede ser desagregado en valores de uso y no uso. Los valores de uso, se referirá a aquellos de los cuales el individuo hace uso directo del bien o servicio ambiental mejorado. Por ejemplo una mejora en la calidad del agua puede incrementar las posibilidades de pesca. Tanto los valores de uso como los de no uso fueron revisados en páginas precedentes.

#### **Disposición a Pagar versus Disposición a Aceptar**

La Disposición a Pagar (DAP) y la Disposición a Aceptar (DAA) son dos medidas estándar de valor económico (Bateman *et al.* 2002). DAP es la medida apropiada a utilizar cuando el individuo desea adquirir el bien o servicio o la mejora en el bien o servicio. DAA es la medida apropiada cuando un individuo es consultado por voluntariamente renunciar a la mejora en el bien o servicio.

La determinación de si DAP o DAA es la medida apropiada, depende de los derechos de propiedad del individuo(s) respecto al bien o servicio siendo valorado. Si el individuo actualmente no posee el bien o servicio ni tiene algún derecho legal sobre él, la medida

---

<sup>83</sup> En este caso, "elicitar" se refiere a la forma en que obtendrá la valoración de los individuos por un bien o servicios ambiental. Es equivalente a decir "obtención". Esos valores se reflejan a través de una Disposición a Pagar o una Disposición a Aceptar por cambios "potenciales" a los bienes o servicios que estén siendo valorados.



apropiada a usar es DAP. Por el contrario, si el individuo tiene algún derecho legal sobre el bien o servicio y está siendo consultado a renunciar -por ejemplo, a mejoras en él-, lo correcto es usar DAA.

### ***Elección del método de valoración***

La Valoración Contingente (VC) y el Análisis *Conjoint* (AC) (ver más detalle en *Anexo 5: Análisis de metodologías que permiten valorar económicamente bienes y servicios intangibles presentes en ecosistemas hídricos*) son medidas apropiadas para elicitación de preferencias económicas por mejoras en la calidad ambiental del recurso hídrico. La máxima DAP por alternativas de política mejoradas (por ejemplo, que tengan relación con mejorar la calidad del agua) con respecto a la situación actual o *status quo*, puede ser obtenida.

La aplicación de VC es particularmente útil cuando es de particular interés estimar beneficios derivados de cambios discretos en la calidad del agua y cuando la política como un todo es objeto de interés, más que valorar aspectos específicos de ella.

La VC funciona bien cuando lo que se requiere es estimar el valor de los beneficios totales de un programa o política, sin embargo, la principal ventaja de los AC sobre la VC es que los cambios marginales de diferentes atributos del bien o servicio pueden ser estimados, o por ejemplo, cuando se requiere estimar aspectos específicos de un programa o política (orientadas hacia una mejora del recurso hídrico).

A continuación, la Tabla 92 presenta los atributos del Análisis *Conjoint* usados por tres autores para valorar mejoras en la calidad del agua.

**Tabla 92. Atributos del Análisis *Conjoint* para valorar mejoras en la calidad del agua**

Referencia	Objetivo del estudio	Atributos usados para la valoración
Adamowicz <i>et al.</i> (1994)	DAP por el agua para uso recreativo en Alberta (Canadá)	Paisaje, tasa de extracción pesquera, calidad del agua, distancia desde el hogar, especies de peces
Burton <i>et al.</i> (2000)	Preferencias públicas por adopción de programas de gestión en lugares de Australia con problemas de salinidad, eutrofización e inundaciones. Todos ellos son problemas relacionados a actividades agrícolas	Área agrícola afectada por problemas de salinidad, superficie agrícola plantada con árboles, impactos ecológicos en humedales, riesgo de inundaciones, cambios en la renta de los granjeros y contribución monetaria anual para implementar el plan de gestión
Georgiou <i>et al.</i> (2000)	Ranking contingente para (técnica de AC) estimar los beneficios de mejoras en la calidad del agua en un río de Inglaterra, a través de DAP por tales mejoras	Tipo de pesca, número de especies silvestres que sobreviven por las mejoras, posibilidades de realizar navegación y natación, costo por implementar las mejoras

Fuente: Elaboración propia.



### 20.2.2.4 Resumen de métodos para valorar mejoras en la calidad del agua

Tipo de técnica	Método	Enfoque	Servicio relacionado al agua apropiado para el método	Necesidades de datos	Limitaciones
Preferencias Declaradas	Valoración Contingente	Las personas son consultadas a revelar su DAP por disfrutar de mejoras en la calidad del agua	Todos los valores de uso y no uso, por ejemplo: agua potable, pesca, protección de especies	Cuestionario con descripción de escenario/mercado hipotético y preguntas de DAP por cambios positivos a servicios específicos como consecuencia de mejoras en la calidad de agua	Sesgos potenciales por el carácter hipotético de los escenarios <sup>84</sup>
	Experimentos de Elección	DAP basada en transacciones entre diferentes atributos ambientales y un costo. Las transacciones se reflejan en un mercado hipotético	Valores de uso y no uso	Cuestionario con descripción de escenario y preguntas de elección respecto de diferentes alternativas (por ejemplo de políticas relacionadas a mejoras en el recurso hídrico) las cuales difieren en niveles de calidad de agua y costo	Como en VC necesita correcciones de posibles sesgos
Técnica de Preferencia Revelada	Costo de Viaje	Estimación de curva de demanda por recreación a partir de datos de gastos de viaje	Recreación: navegación, pesca, natación	Cuestionario con preguntas de gastos de tiempo y dinero para acceder a un sitio recreacional	Sólo captura beneficios recreacionales
	Precios Hedónicos	Calidad del agua, servicios de humedales	Se asume una relación directa existente entre la calidad de un bien ambiental y un bien de mercado (ejemplo: valores de propiedades)	Valores de la propiedad y sus características, incluyendo la calidad ambiental	Requiere exhaustiva información sobre los precios de las acciones y sus características y también respecto al nivel de provisión del servicio ambiental en Numerosos de sitios específicos

Fuente: Elaboración propia.

<sup>84</sup> Esos sesgos, sin embargo, son manejables si la herramienta es bien diseñada (Bateman *et al.* 2002).



### **20.2.3 Lineamientos para el diseño de instrumentos y políticas que permitan aumentar, proteger, y gestionar de mejor forma la oferta de bienes y servicios intangibles**

Aunque no todos los beneficios de diferentes alternativas de gestión de ecosistemas hídricos han jugado un rol importante en los análisis Costo-Beneficio, existe un amplio rango de beneficios que puede ser descrito a través del Valor Económico Total (VET).

Para la gestión del agua superficial, el Valor de Opción puede adquirir gran importancia social por la relevancia de contar con este recurso en el futuro.

La decisión respecto a qué componentes intangibles del VET considerar, depende de qué tipo de ecosistema será evaluado. Para componentes bióticos (parámetros químicos, físicos) como agua o calidad de agua, valores de uso directo o indirecto son de interés. Los Valores de No Uso pueden ser ignorados.

Respecto a los requerimientos que debe cumplir un programa de gestión de los recursos hídricos para su valoración económica, los requerimientos pueden ser divididos en aspectos políticos y metodológicos:

Desde un punto de vista político, dinero y tiempo pueden ser indicativos y bajo esa perspectiva, convendría más, por ejemplo, valorar programas o alternativas de gestión en vez de especies o ecosistemas específicos. En el ámbito político convendría también concentrarse en aquellas alternativas de gestión que resulten controversiales desde el punto de vista social. La valoración socioeconómica de los beneficios de tales alternativas puede contribuir a la aceptación social de las mismas si es que los beneficios están bien explicitados.

Desde el punto de vista metodológico, cuando no se utilizan Técnicas de Preferencias Declaradas como valoración Contingente y Experimentos de Elección, es necesario utilizar metodologías indirectas que, para ser aplicadas, demandan información científica que muchas veces no existe.

Por otra parte si se usan Valoración Contingente o Experimentos de Elección los objetivos de las alternativas de gestión siendo valoradas, así como también sus consecuencias deberían ser exhaustivamente presentadas a aquellos grupos sociales que valorarán tales alternativas. Los bienes y servicios a valorar deberán ser de interés para quienes los valoren.

### **20.3 Metodología para el análisis de los costos y beneficios de una política integral de los recursos hídricos.**

Toda propuesta de política pública, como la precedente, puede ser evaluada desde una perspectiva económica. La metodología propuesta para este fin se conoce como "Análisis de Costo Beneficio" en el cual se realiza una evaluación comparando los beneficios y los costos asociados a un instrumento o política en particular para determinar la conveniencia o no de aplicarla. Este enfoque se utiliza generalmente al comparar distintas alternativas de políticas, para lo cual es preciso identificar los impactos sociales y ambientales asociados y asignar un valor económico a los resultados que se deriven de



los mismos (Pearce 1983). Además, es necesario poder comparar los costos y beneficios de aplicar una política o instrumento nuevo, y los costos y beneficios de mantener la situación actual.

Cuando no es factible o deseable encarar un Análisis Costo Beneficio tradicional, como por ejemplo, cuando en una cuenca existen áreas naturales que son consideradas únicas en el mundo, y que se desean conservar sin considerar el costo de ello; o en casos en los que exista un elevado nivel de incertidumbre sobre los beneficios que pueden proveer los bienes y servicios ambientales del agua en una cuenca (tanto en el presente como en el futuro), lo que genera problemas para asignar valores monetarios apropiados a estos servicios; o cuando la pérdida de servicios ambientales pueda ser irreversible, es deseable optar por una estrategia de análisis que minimice las pérdidas asociadas al daño ambiental a menos que el costo social de la misma sea excesivamente alto. Esta perspectiva es conocida como "Estándares Mínimos de Seguridad" (*safe minimum standards*) (Gregersen *et al.* 1987). En estos casos, se aplica una variante del Análisis Costo Beneficio tradicional: el enfoque "Costo-Eficiencia", que consiste en encontrar la manera más eficiente de alcanzar un objetivo ambiental particular. Es importante destacar que este enfoque indica cuál es la alternativa más eficiente, pero no evalúa si los beneficios esperados justifican los costos en los que debe incurrirse.

## **20.4 Método del Análisis Costo Beneficio aplicado a la gestión de recursos hídricos**

El análisis económico aplicado a la gestión de recursos hídricos debería ser un resultado intermedio en el proceso de aplicación de una política, como por ejemplo, en una propuesta de Estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos. En ese sentido, el análisis económico debe ser parte integral del proceso de preparación de las políticas y de su posterior aplicación y evaluación. En el caso de los usos del agua, el análisis económico pretende aportar suficiente información, que tenga un nivel de detalle que justifique el costo de adquirirla.

Tal como se ha presentado en los capítulos anteriores de este trabajo, la información existente en el país permite desarrollar un primer análisis sobre la importancia económica de los usos del agua, y aportar elementos que permitirán identificar en el futuro los posibles beneficiarios y perjudicados de las medidas que se propongan para mejorar el estado ambiental de las aguas. No obstante, existen ciertos vacíos de información que serán necesarios en las fases avanzadas del diseño de los planes de gestión integrada de cuencas y, en particular, en los procesos de participación pública, vacíos tales como la relación entre aguas superficiales y subterráneas, la tasa de recarga de los acuíferos y sus determinantes, por nombrar algunos.

En términos generales, el análisis costo beneficio aplicado a la gestión de los recursos hídricos involucra un conjunto de actividades relevantes que se mencionan a continuación (Hanley and Spash 1993, Irvin 1985, Haveman and Weisbrod 1975):

1. Identificación y evaluación de la información disponible, para hacer frente no sólo al análisis económico de los usos del agua. En este sentido, el principal reto metodológico consiste en integrar los datos provenientes de distintas fuentes, organizados a distintas escalas espaciales y temporales, que a menudo no coinciden



con las unidades de análisis que son adecuadas para estudiar las cuestiones del estado de los ecosistemas hídricos.

Por ese motivo, un objetivo específico necesario será el diseño de métodos que permitan integrar las fuentes disponibles en un sistema de información adecuado, lo que obliga a transformar datos que se organizan a escala nacional, regional, provincial o municipal, a las unidades de cuencas o subcuencas hidrográficas y los cuerpos de agua.

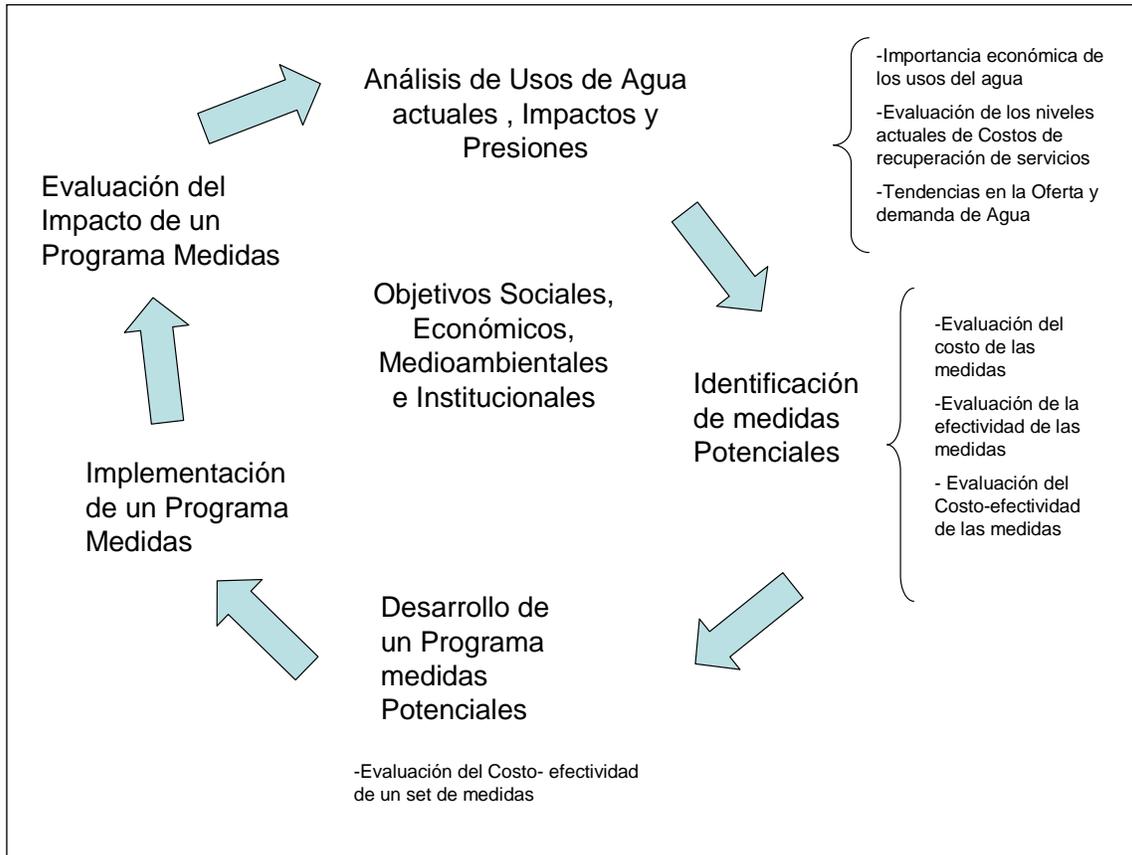
En la medida en que la aplicación de una estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos tendrá requerimientos relativamente novedosos de información que no se pueden completar totalmente con la información disponible, el análisis costo beneficio también servirá para identificar las necesidades de información y para determinar prioridades respecto a la información que resulte más útil para mejorar la gestión del agua.

2. Identificar las particularidades del uso del agua en cada una de las cuencas consideradas en el análisis costo beneficio y explicar tales particularidades a partir de elementos característicos como las actividades económicas relevantes de la cuenca, las pautas de concentración espacial de la actividad, las dinámicas demográficas y de urbanización o las ventajas comparativas en la producción de ciertos bienes.
3. Identificar y estudiar con un grado de profundidad aceptable (desde el punto de vista del error que se puede cometer) los principales factores determinantes de la demanda de servicios del agua (principales usos actuales y potenciales del agua), de manera que sea posible comprender la relación que existe entre las dinámicas de evolución económica de los distintos sectores, por una parte, y sus implicaciones para los usos del agua, por otra, así como la compatibilidad entre la evolución previsible de la demanda de servicios del agua y el mantenimiento del estado ecológico de los ecosistemas hídricos que habrán de soportar nuevas presiones.
4. Diseñar un conjunto de indicadores que permitan establecer comparaciones entre las distintas cuencas y que sean relevantes para identificar prioridades de actuación.
5. Elaborar un escenario de evolución de los usos del agua, en función de un escenario de prospección de la tendencia de los factores determinantes, de acuerdo con las hipótesis que resulten más plausibles para prever su dinámica en los próximos años, e incluyendo los efectos de la planificación sectorial y los planes reguladores y de los cambios previstos en el entorno institucional.

Finalmente, la Figura 20 ejemplifica la forma en que deberían integrarse distintos instrumentos económicos en el análisis de una política de recursos hídricos.



**Figura 20. Integración de estudios específicos en el ciclo de evaluación de una política de recursos hídricos.**



Fuente: Elaboración propia.



## Capítulo 4:

---

# Propuestas para avanzar en la GIRH en Chile





## 21 IMAGEN DEL ESTADO DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE

A partir de esta investigación, ha sido posible obtener una visión general y sistémica de la manera en que el agua es asignada, administrada y utilizada en Chile (por instituciones, organizaciones y personas). No ha sido una tarea simple, no sólo por la inherente complejidad de este recurso natural en términos morfológicos e hidrológicos, sino que también por las múltiples funciones y servicios que genera que determinan una serie de particularidades en su gestión.

Entonces, antes de poder entregar propuestas que mejoren a la gestión del agua en Chile, resulta necesario sintetizar los hallazgos más relevantes derivados del exhaustivo proceso de revisión de fuentes primarias y secundarias mostrado en el capítulo anterior.

A continuación, sintetizamos el estado actual de los recursos hídricos en Chile en los cuatro ámbitos más importantes analizados.

### 21.1 El agotamiento del agua

Por una parte, las demandas actuales de los diferentes usuarios en la mayoría de las cuencas pilotos de este estudio son mayores a la oferta de agua de las cuencas, por lo cual presentan un agotamiento legal y físico, especialmente en la zona centro norte del país. Esta situación cambia en las cuencas de los ríos Biobío y Baker, que cuentan con ventajas climáticas de precipitación y temperatura que les otorgan una oferta natural de agua mayor, respecto del resto de las cuencas. A pesar de que esta realidad no causa mayores sorpresas y confirma una aseveración hecha por diversos especialistas y autoridades, no deja de ser preocupante, ya que de acuerdo a las estimaciones de demanda futura creciente para todos los usos del agua, la situación de escasez actual se verá agravada, más aun considerando factores como el cambio climático, que amenaza con acentuar y extender las condiciones de aridez a un mayor territorio del país.

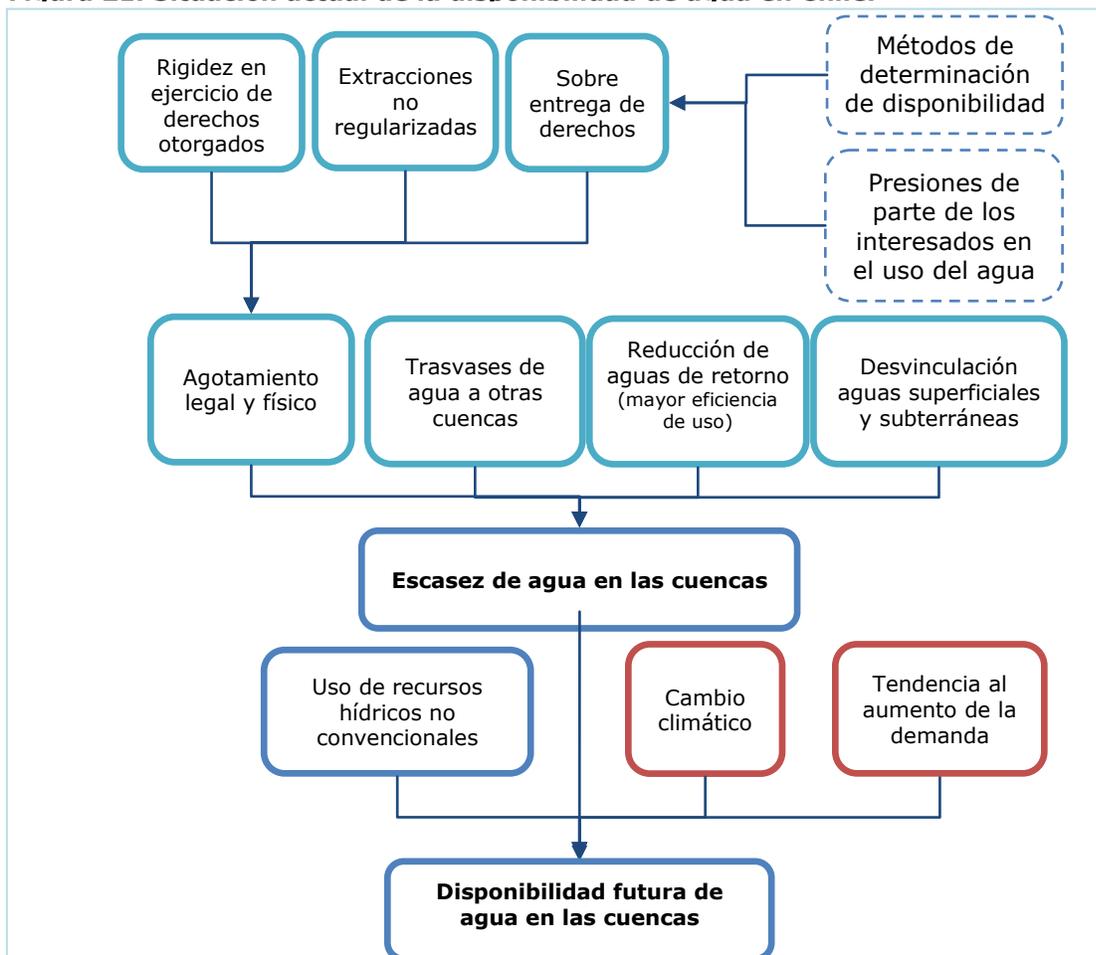
Frente a este escenario, aparecen como alternativas importantes para reducir la escasez, el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan incorporar nuevas fuentes de agua a la oferta. Para esto, la utilización de recursos no convencionales como la regeneración y reutilización de aguas y la desalación se vislumbran como alternativas que pueden contribuir a estos fines, ya que permiten optimizar la utilización de recursos hídricos que han sido desechados o bien de aguas saladas o salobres, que no cumplen con los estándares para la mayoría de las necesidades hídricas humanas (básicas y productivas). Sin embargo, el gran obstáculo para la masificación de estas tecnologías es el costo de inversión y mantención para su implementación, agregando a ello los altos niveles de consumo de energía que implican, lo que de una u otra manera recae en los usuarios, quienes no necesariamente están dispuestos (usos productivos) o capacitados (usos productivos menos rentables y usos *in situ*) para pagarlos.

Por otra parte, un aspecto que ha influido en el agotamiento de las aguas es el mecanismo que oficialmente se realiza para determinar la disponibilidad de agua. Este mecanismo contiene procedimientos que pueden ser perfeccionados, lo que ayudaría a mejorar las diferencias que existen entre la oferta real de agua que entrega un sistema hídrico y la demanda que existe de agua en éste (presiones por entrega de nuevos derechos de aprovechamiento). De esta manera se podría ajustar la demanda

comprometida a través de los derechos de aprovechamiento asignados con la disponibilidad real de agua.

Estos aspectos y sus relaciones se sintetizaron en la Figura 21 para lograr un mayor entendimiento de este tema.

**Figura 21: Situación actual de la disponibilidad de agua en Chile.**



Fuente: Elaboración propia.

## 21.2 La degradación del agua

Todas las cuencas estudiadas presentan algún tipo de problema de calidad en sus aguas que limitan la disponibilidad del recurso para sus diferentes usos; el origen de los problemas de contaminación es principalmente antropogénico, aunque en algunos casos tiene un origen natural<sup>85</sup>. Se ha observado que la contaminación por descarga de aguas servidas a los cauces superficiales en las zonas urbanas ha disminuido en el tiempo, gracias a los avances en la implementación de plantas de tratamiento de aguas servidas, aunque no ocurre lo mismo en las zonas rurales, donde las aguas domiciliarias aún son

<sup>85</sup> Es el caso de ríos como el Lluta, donde el boro y el azufre están presentes de forma natural, superando las normas de calidad. Se le llama "naturalmente contaminado".



vertidas a cuerpos de agua superficial, amenazando la calidad del agua para riego y otros usos. Respecto de la contaminación química, son las industrias y la actividad minera las principales involucradas en la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. A esto se suma el problema de la contaminación difusa, atribuida a la actividad agropecuaria, que afecta a las aguas superficiales y subterráneas sin que haya estudios que permitan identificar más claramente sus orígenes y la magnitud del problema.

### 21.3 Conflictos en el acceso al agua

Todos los ámbitos anteriores enmarcan el acceso al agua en un escenario complejo. Por una parte, en términos prácticos, la gran mayoría del agua del país ya está asignada, lo que implica que la única forma de acceder a ella (en términos legales) es a través de su compra en el mercado. Por otra parte, la creciente escasez del recurso aumenta su valor en dicho mercado, haciendo del agua, en muchos casos, un costo prohibitivo para una gran gama de usos y usuarios con menos recursos (campesinos y etnias especialmente).

Esta situación también encarece el acceso al agua potable para consumo doméstico, aunque, sin embargo, en diversas zonas del país ni siquiera existen derechos de aprovechamiento asignados a este uso. En otros casos, si bien existe disponibilidad de agua para el consumo doméstico, la calidad del recurso implica la utilización de tecnologías de depuración que pueden no estar disponibles.

Por otro lado, la predominancia de los usos más productivos (dada la natural tendencia del mercado a reasignar los recursos a aquellos usos que generan mayor productividad económica) y la rigidez en el ejercicio de los derechos otorgados, ha ido en desmedro del uso del agua *in situ*, viéndose perjudicadas las capacidades de las cuencas de mantener ecosistemas acuáticos, riberanos y terrestres, al disminuir la cantidad del agua disponible para las diversas funciones ecológicas y sociales en que el agua se vuelve indispensable, y la consecuente pérdida de biodiversidad, erosión de suelos, entre muchos otros. De esta forma, el acceso al agua de otros usos *in situ*, para los cuales no se cuenta con derechos de aprovechamiento por no ser extractivos – como el turismo, la acuicultura, y diversas actividades recreativas de la población – se ven perjudicadas al ver disminuida la calidad y cantidad del agua en las fuentes de origen y los servicios ambientales que este recurso entrega y que son aprovechadas por dichas actividades.

El marco institucional y legal que se aplican a los recursos hídricos en Chile no permite interferir mayormente en las dinámicas del mercado, y aunque ha mostrado ser un método eficiente para la reasignación a usos económicamente más rentables, la imposibilidad del Estado de regular su funcionamiento en aquellos casos de interés nacional, finalmente ha causado una situación de inequidad para aquellos usuarios del agua que, si bien son económicamente menos rentables, de todas formas tienen la necesidad de acceder al agua para subsistir, pero que se ven coartados por el mercado al no poder acceder a los derechos de aprovechamiento que necesitan.



## 22 LA GESTIÓN ACTUAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN CHILE

La gestión del agua en Chile es un sistema complejo que involucra a una gran cantidad de actores, y cuyo funcionamiento depende de factores no siempre previsibles.

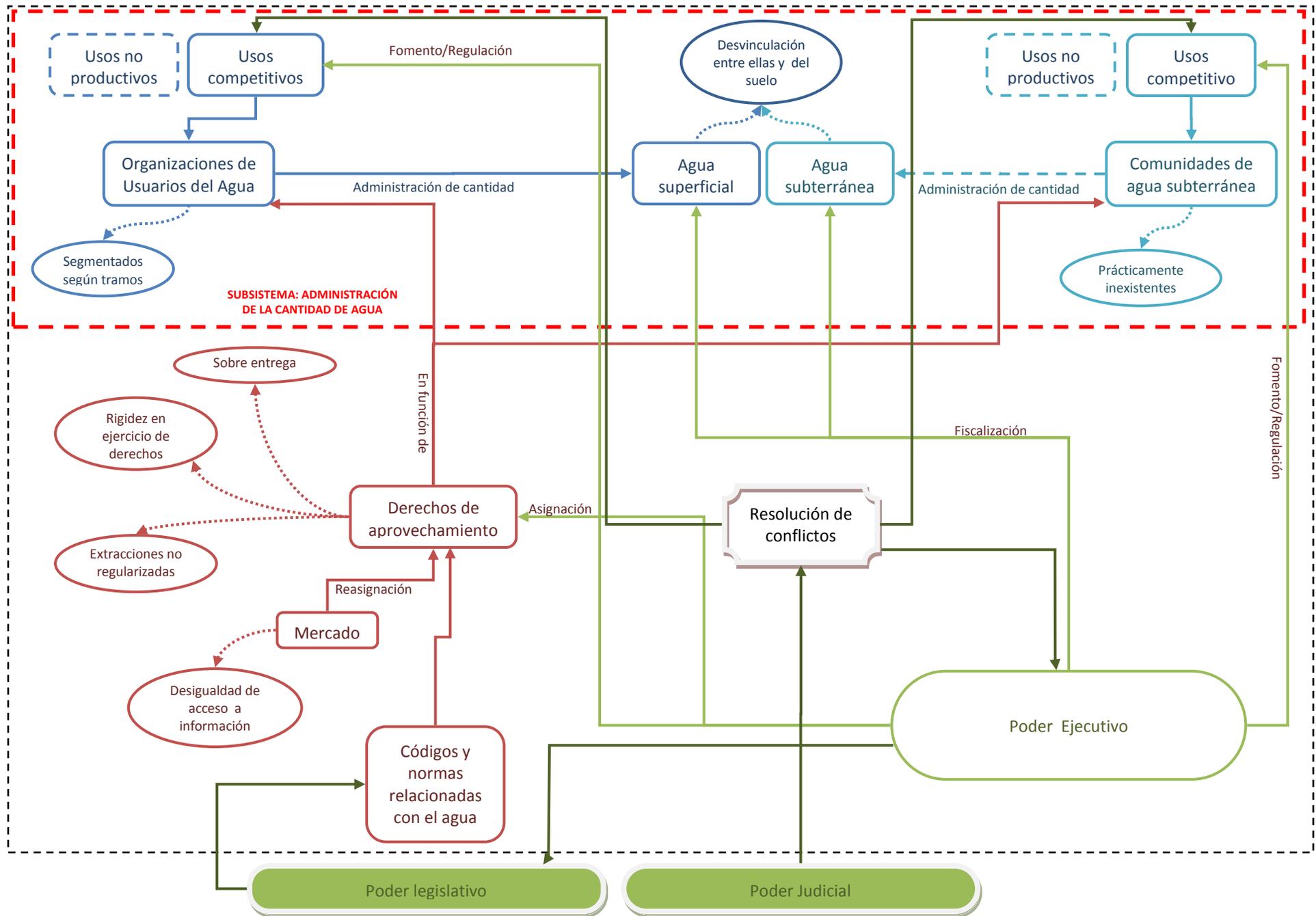
### 22.1 Modelo de la gestión actual del agua en Chile

A partir de los resultados del capítulo anterior (sintetizados en la sección 21 *Imagen del estado de los recursos hídricos en Chile*), se elaboró un modelo que da cuenta del actual funcionamiento de la gestión del agua en Chile, como se muestra en la Figura 22.

La administración del agua en Chile recae en los propietarios de derechos de aprovechamiento.

En la Figura 22 se muestra el modelo elaborado, donde el límite de este sistema se encuentra representado por una línea negra segmentada. El recuadro de línea segmentada roja corresponde al subsistema de administración del agua (cantidad), y como se aprecia, revela que la administración se realiza de manera separada para las aguas superficiales y las subterráneas. Dentro de este subsistema, los recuadros azules con línea segmentada corresponden a usos que no tienen expresión formal en la actualidad, es decir usos que no poseen derechos de aprovechamiento.

Figura 22: Modelo de la gestión actual del agua en Chile.





En el caso de las aguas superficiales, las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA), constituidas por los propietarios de derechos de aprovechamiento, son las encargadas de la administración de las aguas, gestión que se realiza en función de los derechos de aprovechamiento que cada usuario posee. Además, la gestión se caracteriza por realizarse de manera segmentada dentro de una cuenca, ya sea en secciones de un mismo río o entre ríos de una misma hoya. Por otro lado, estas organizaciones no incorporan aquellos usos que no poseen derechos de aprovechamiento, como los usos ecológicos (mantención de ecosistemas), ambientales (recarga de acuíferos, transporte de materiales, paisajístico, u otros) o de usos no tradicionales (turismo informal, ancestrales, culturales, entre otros).

Por su parte, la administración de las aguas subterráneas es hecha de manera individual por cada usuario, y en escasos casos por comunidades de aguas (OUA) que administran un acuífero en común en función de los derechos de aprovechamiento que cada usuario posee. Al igual que en caso de las aguas superficiales, no contempla los usos que no poseen derechos de aprovechamiento.

La cantidad de agua que administran las OUA queda definida por los derechos de aprovechamiento que los usuarios poseen, los cuales en un 90% de los casos ya estaban asignados a algún usuario al momento de entrar en vigencia el Código de 1981, por lo cual sus indicaciones rigen para un 10% de los derechos superficiales y subterráneas terrestres del país (Peña 2004a). En contraste, la reasignación de las aguas se rige bajo el Código de 1981, y se realiza a través de mecanismos de mercado, que tienen por objetivo favorecer la reasignación de recursos hídricos a los usos más rentables, lo que tiende a beneficiar los usuarios de mayores ingresos y a aquellos que poseen más información respecto de los precios y del funcionamiento del mercado.

Las características de estos derechos de aprovechamiento indican que su ejercicio por parte de los propietarios es rígido, es decir, no considera las características del medio físico sobre el cual se ejercen, como por ejemplo, la variabilidad inter e intra anual en la disponibilidad de agua. Esto por el hecho de que en la definición de disponibilidad que maneja el Ejecutivo, se considera el comportamiento normal del ciclo hidrológico de una fuente de agua para definir el total de agua que puede ser repartida. Esto ha generado en algunas cuencas que la cantidad de derechos de aprovechamiento supere a la oferta hídrica natural del cuerpo en cuestión, sin que tampoco se considere la dependencia de este cuerpo respecto del equilibrio del agua en la cuenca en su conjunto.

Otra característica de los Derechos de Aprovechamiento es que fueron entregados bajo una lógica de aprovechamiento agrícola, en donde la eficiencia de uso del agua era baja, lo que permitía la recarga natural del sistema por los retornos que se producían luego de su uso ineficiente en riego. La ley, no consideró el aumento de la eficiencia en el uso del agua ni la expansión agrícola que derivó al aumentar esta eficiencia (es decir, el agua sobrante del riego, en vez de devolverse al sistema, se retiene para otros usos, para expansión agrícola, o para ser transados en el mercado) como tampoco el cambio del uso del agua desde la agricultura a otros usos consuntivos que no retornan el agua, con lo cual la recarga del sistema aguas-abajo de las zonas agrícolas se ha ido reduciendo, afectando la disponibilidad en las zonas más bajas de la cuenca y con ello el ejercicio de derechos de terceros y las necesidades ecológicas y ambientales de la cuenca.

Los derechos de aprovechamiento en gran parte del país se caracterizan por no estar regularizados, es decir, muchos usuarios de aguas no han inscrito sus derechos en el



Conservador de Bienes Raíces correspondiente, ya sea por desconocimiento, por el costo que esto significa, o por incapacidades dadas por lejanía a centros poblados, situaciones legales como posiciones efectivas no resueltas, o por documentación inexistente (usos ancestrales), estos elementos implican que en la mayoría de las cuencas las OUA administran la aguas entre quienes han sido sus usuarios históricos, algunos de ellos con derechos formales y otros sin regularizar, generando una situación de sobre uso de las aguas.

En este escenario de funcionamiento de la gestión del agua, el poder ejecutivo tiene funciones específicas y atribuciones restringidas en el control de la administración que realizan los privados.

El poder judicial cumple una función clave en la resolución de conflictos dado que es la única vía por medio de la cual legalmente se debe resolver cualquier situación que enfrente a privados, o a privados con el sector público.

El poder legislativo tiene un rol en la generación y modificación de normas y leyes que definen el funcionamiento del sistema.

## 22.2 La legislación y la institucionalidad pública

A pesar de que el Estado no ocupa un lugar preponderante en la administración del agua (Figura 22), sigue siendo el actor principal, ya que es el responsable e impulsor de la legislación (que entrega el marco legal para la administración) y de las instituciones públicas, que cumplen una amplia gama de funciones, como se explica a continuación. Así mismo, el poder judicial participa en la resolución de conflictos relacionados con el agua a través de los tribunales de justicia (se puede ver más detalle de esto en el apartado 24 *Propuesta participativa de resolución de conflictos en torno al agua*).

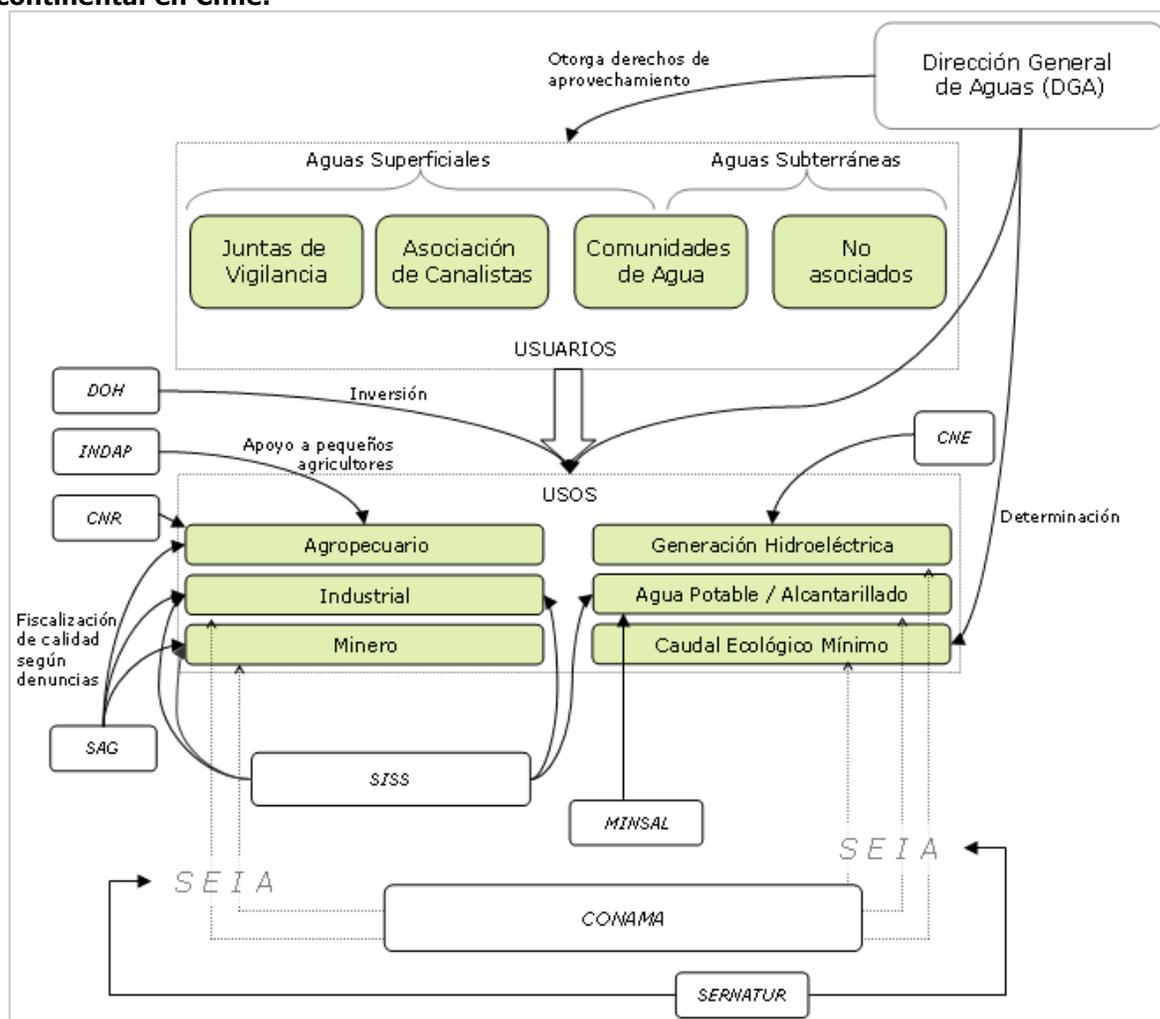
La gestión del agua en Chile está regida por el Código de Aguas de 1981. Este Código crea los mercados de agua, entrega a los privados su administración y reduce la función del Estado en esta materia, dejándole facultades de fiscalización y de fomento de obras de riego entre otras. El Código de Aguas reconoce tres tipos de organizaciones de usuarios del agua quienes se encargan de la administración de este recurso entre los usuarios que comparten una misma fuente u obra de captación de las aguas. En cuanto al rol público, la Dirección General de Aguas se mantiene como el organismo con mayores competencias sobre del recurso hídrico, cuyas labores esenciales son el otorgamiento de los derechos de aprovechamiento a quien los solicite, la realización de estudios de cantidad y calidad de las aguas, labores de fiscalización en las fuentes naturales de agua y proposición de políticas, entre otras. El Código de Aguas fue modificado el año 2005, incorporándose el concepto de caudal ecológico mínimo para la protección de ecosistemas, y el pago de una patente por el no uso de las aguas otorgadas (Fuster *et al.* 2009a).

Además de la Dirección General de Aguas, otras instituciones también se relacionan con la gestión del recurso hídrico a través de la elaboración de normas y leyes relacionadas. Por ejemplo, las normas de emisión de contaminantes y de calidad de agua para diferentes usos o la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas que fue propuesta bajo el alero de la Comisión Nacional de Medio Ambiente. En la elaboración de normas de emisión y de calidad, se involucran el Ministerio de Salud y la

Superintendencia de Servicios Sanitarios. Además de estos ejemplos, participan de forma tangencial la Comisión Nacional de Energía, el Servicio Agrícola Ganadero y la Comisión Nacional de Riego, por nombrar algunas instituciones (Fuster *et al.* 2009a).

Esta variedad de normas y reglamentos -más de una veintena, según indican Fuster *et al.* (2009a)- genera dispersión de la información y de las responsabilidades sobre el recurso hídrico, lo que sumado a la falta de información sobre los dueños efectivos de derechos de aprovechamiento, y la protección que estos le otorgan a sus titulares (en cuanto a propiedad privada) hacen que la institucionalidad del agua en Chile sea burocrática, enredada, y presente muchas barreras ante iniciativas de modernización de la gestión, tales como las mesas del agua, las modificaciones legales o la implementación de otros mecanismos de gestión más integrados. La Figura 23 muestra la interrelación de organismos del Estado y la administración de las aguas terrestres.

**Figura 23: Esquema de relaciones institucionales vinculadas al recurso hídrico continental en Chile.**



Fuente: Elaboración propia en base a OCDE (2005), DGA (1999) y Fuster *et al.* (2009a).



## 23 PROPUESTA DE POLÍTICA DE CARÁCTER ECONÓMICO, SOCIAL Y AMBIENTAL

### 23.1 Introducción

Habiendo revisado el modelo de gestión actual de los recursos hídricos (ver apartado 22 *La gestión actual de los recursos hídricos en Chile*) y las diferentes problemáticas asociadas a las ocho cuencas piloto estudiadas, es posible señalar que el problema del agua en Chile nace de la actual visión con que se administra el agua, que corresponde a un manejo sectorial que no considera la interdependencia de los diferentes usos en una cuenca, produciendo problemas de disponibilidad, tanto de agua con calidad apropiada para distintos usos, como de los volúmenes necesarios para sustentar las actividades productivas actuales.

La visión actual considera al agua estrictamente como un recurso natural, un bien que puede utilizarse de distintos modos para satisfacer las necesidades humanas. Así, deja de lado la visión del agua como el componente vital de todos los ecosistemas, y por tanto, no considera como válidos los usos *in situ* (Patrimoniales, tradicionales, estéticos, recreacionales y turísticos, ambientales y ecológicos).

Con el propósito de comenzar el camino hacia la solución de los problemas y dificultades detectados en el uso o gestión del agua en el transcurso de esta investigación, se presenta una propuesta de políticas públicas, que apunta hacia la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, abarcando las dimensiones ambiental, social, económica e institucional.

Las propuestas contenidas en esta sección fueron validadas en un panel de expertos en temas hídricos (Organizaciones de Usuarios de Aguas, tomadores de decisión, investigadores y representantes de otras organizaciones), el detalle sobre los expertos se puede ver en el *Anexo 9: Fuentes primarias de información utilizadas: Entrevistas, asistencia a actividades y paneles de expertos*.

La construcción de esta propuesta sigue la estructura descrita en el *Anexo 7: Aportes conceptuales a la elaboración de una Política*.

### 23.2 Enfoque

Siguiendo el hilo conductor de esta investigación, se plantea como enfoque para la propuesta que se presenta el de la GIRH, de acuerdo a lo planteado por la Global Water Partnership (ver más detalle en la sección 4 *La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos*) (GWP 2000). Esta visión integrada reconoce y trata las interconexiones entre aspectos sociales, técnicos, políticos, económicos y ambientales referentes al agua (Bauer 2004), y se sustenta en la integración de al menos los siguientes cinco aspectos:

1. Los intereses de los múltiples usos y usuarios del agua y de sus objetivos, con el fin de evitar y mitigar conflictos entre ellos.



2. Los aspectos del agua (cantidad y calidad) que influyen en sus usos y usuarios, y la gestión de la oferta en conjunto con la gestión de la demanda, especialmente cuando la disponibilidad del agua es insuficiente para satisfacer todos los requerimientos.
3. Las diferentes fases del ciclo hidrológico (integración de aguas superficiales y aguas subterráneas, los glaciares y las aguas costeras).
4. La gestión del agua, del suelo y de otros recursos naturales, de manera de conservar el medio ambiente.
5. La equidad social.

De esta forma, la gestión puede considerarse bajo dos categorías básicas: el sistema natural, con su importancia crítica para la calidad y la disponibilidad del recurso, y el sistema humano, que determina el uso del recurso, su contaminación y la producción de desechos.

### 23.3 Principios Rectores

Las propuestas que aquí se presentan se desarrollan bajo el enfoque antes descrito; reconocen la existencia de un marco legal e institucional vigente, aún cuando se proponen algunas acciones que en ciertos casos requieren modificaciones legales. Las propuestas de este documento se basan en los siguientes principios rectores:

1. Se reconoce la existencia e interacción de los procesos que ocurren entre los elementos del ecosistema y de la existencia e interrelación de los múltiples usos del agua, incluyendo a los que no tienen una dimensión económica directa, como los usos *in situ*. Esto facilita el establecimiento de relaciones de causalidad claras en los distintos problemas y conflictos en una cuenca, entre sus elementos y usuarios.
2. Se identifica la necesidad de robustecer el rol del Estado, especialmente como regulador del mercado de aguas y como el responsable de la creación y aplicación de políticas y estrategias que tiendan a la GIRH y de incorporar el principio de Gradualidad, en el sentido de que se puedan fijar metas progresivas con la finalidad de una mejora continua.
3. Se identifica la necesidad de descentralizar la toma de decisiones y de fomentar la participación. La toma de decisiones debiera realizarse en todos los niveles de usuarios de las cuencas (tenedores y no tenedores de derechos de aprovechamiento), con el fin de que todos los involucrados presentes en una cuenca sean creadores y validadores de las decisiones que se tomen.
4. Flexibilidad y Manejo de la incertidumbre: Tomando en cuenta la alta complejidad en la gestión del agua, la multiplicidad de factores y actores involucrados y el bajo conocimiento actual del sistema hídrico, la Política debe propender a la generación de estrategias y planes bajo el principio precautorio, de alta flexibilidad y enfoque sistémico, que permita reconocer las múltiples interdependencias que ocultan grados de incertidumbre en cuanto a la dirección e intensidad de las relaciones entre actores y factores.



### 23.4 Propósitos / Objetivos de la Política

Los objetivos de las propuestas que se exponen a continuación están basados en cuatro dimensiones de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Cada objetivo responde a las necesidades detectadas de cada dimensión:

1. Dimensión institucional. Dotar a las instituciones públicas de mayores atribuciones en la asignación, regulación y fiscalización del uso y gestión del agua.
2. Dimensión social. Asegurar la participación y acceso de todos los interesados en el agua, en las decisiones que se tomen respecto a la gestión y usos del recurso.
3. Dimensión económica. Dotar al Estado de una mayor capacidad de regulación del mercado y de instrumentos de fomento y otros de carácter económico.
4. Dimensión ambiental. Reconocer al agua como componente vital de los ecosistemas y con innumerables funciones ambientales.

### 23.5 Estrategias de acción

Se proponen Estrategias de acción en función de las dimensiones identificadas en los objetivos de la Política. Estas estrategias están regidas por los principios rectores ya enunciados, y apuntan a cumplir con los objetivos propuestos.

Para elaborar estas estrategias, se estudió el modelo que describe la gestión actual de los recursos hídricos (Figura 22: Modelo de la gestión actual del agua en Chile.) donde se identificaron las principales problemáticas asociadas a cada dimensión, a partir de lo cual se proponen diferentes **Líneas de Acción** que buscan intervenir tratando de solucionar o bien mitigar el problema identificado.

Dado el alcance de esta investigación, las líneas de acción propuestas no se desarrollan en profundidad, no se incluyen tareas ni tiempos específicos para su implementación, lo que debería ser el siguiente paso para implementar la Política que contribuya efectivamente a la gestión de los recursos hídricos del país.

Se debe considerar que algunas medidas son de corto plazo y aplicables bajo la normativa actual, mientras otras requieren un trabajo a mediano o largo plazo que algunas requieren de modificaciones legales, lo cual se indica para cada caso.

#### 23.5.1 Estrategia para la Dimensión Institucional

En esta dimensión se busca "*Dotar a las instituciones públicas de mayores atribuciones en la asignación, regulación y fiscalización del uso y gestión del agua*".

Las líneas de acción que se requieren para lograr este objetivo son transversales a las dimensiones ambiental, económica y social, ya que son las instituciones (públicas y privadas), las que finalmente generan y ejecutan las líneas de acción planteadas en cualquier nivel. Es por esto que se incluyen en esta propuesta las líneas de acción que intervienen a las instituciones responsables para la ejecución de cada propuesta estratégica en cada dimensión.



De todas formas, existe una necesidad evidente de reformar la actual institucionalidad pública, que trata de plasmarse en la siguiente propuesta:

### **23.5.1.1 Reforma de la institucionalidad pública relacionada con la gestión de los recursos hídricos**

La gran dispersión y falta de coordinación entre las múltiples organizaciones de gobierno con responsabilidades en el sector hídrico (muchas de ellas superpuestas), atenta contra la visión sistémica propia de la gestión integrada del recurso.

**Objetivo:** Reformar la actual institucionalidad pública, coordinando eficientemente los organismos actuales relacionados con la administración del agua y así fortalecer las funciones que el Poder ejecutivo realiza sobre su gestión.

#### **Línea de acción:**

1. Asignar a la DGA atribuciones más amplias que le otorguen el rol de ente coordinador de la institucionalidad pública y reformular roles específicos e interacciones claras para los organismos relacionados con la administración y gestión del agua.

Responsable(s) directos de ejecución : Poder ejecutivo, DGA  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

### **23.5.1.2 Creación de las Mesas del Agua (MA)**

Como ya se ha mencionado, la administración del agua en Chile recae sobre los propios usuarios y la asignación y reasignación del recurso opera bajo las señales de un mercado con muy pocas regulaciones, situación que ha dado pie para generar un nivel de entropía que ha creado las condiciones para alterar varias de las cuencas hidrográficas del país a niveles altamente preocupante, desde todo punto de vista (ambiental, económico y social). Ni la gestión en manos de los usuarios ni la participación del mercado como asignados del recurso, son aspectos en sí mismos buenos o malos, desde el punto de vista de la gestión. El desorden con implicaciones negativas en lo relativo a calidad, cantidad y distribución del agua, tiene que ver con la incapacidad de coordinar las distintas actividades y servicios que dependen del agua.

Desde este punto de vista, la siguiente propuesta busca apoyarse en las ventajas de una administración del agua en poder de los usuarios y en las ventajas que ofrece el mercado en la asignación del recurso, mediante un esfuerzo de coordinación, con importante apoyo estatal e institucional y haciendo uso de diversos instrumentos de gestión, esto considerando la cuenca hidrográfica como la unidad espacial lógica para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

**Objetivo:** Crear las Mesas del agua como entidades territoriales definidas por cuencas

Las Mesas del agua serán instancia de reunión, participación, toma de decisiones y de resolución de conflictos para la gestión del agua en la cual participan el Estado a través



de sus instituciones con representación en este territorio, las Organizaciones de usuarios del agua, los usuarios sin derechos de aprovechamiento, la sociedad civil representada por los municipios, y juntas de vecinos y representantes de ONGs con intereses ambientales y sociales, otros actores que sean considerados relevantes en cada cuenca.

### **Línea de acción:**

2. Entregar a DGA, como institución técnica coordinadora de la institucionalidad pública, las atribuciones para constituir las Mesas del Agua.

Las Mesas del Agua debieran estar lideradas por uno o más profesionales de dedicación exclusiva, para garantizar el desarrollo de las actividades en función de la vocación productiva que los involucrados en la cuenca definan a través de estas instancias, para cada una de las cuencas.

Si bien el derecho de aguas prevalecerá frente a cualquier acuerdo, la constitución formal de estas instancias, con el debido financiamiento, y garantizando la diversidad propia de cada cuenca, es inherentemente un paso hacia un modelo de gestión que mejora las condiciones de equidad en la toma de decisiones, como también en el acceso al agua, al tiempo que permite la inclusión en la discusión de los temas de interés ambiental y social.

Los objetivos de las Mesas del Agua serían:

- a. Ampliar la red de actores: Las MA deberán propender a la incorporación, tanto en las acciones específicas, como en la definición de los lineamientos, a todos los usuarios del agua, reconocidos o no, formalmente por la ley (usuarios con derechos de aprovechamiento y usuarios *in situ*).
- b. Instalar capacidades locales: Las MA tendrán la misión de formar equipos de trabajo altamente calificados. Se trata de establecer redes de inteligencia, en las que participen activamente todos quienes tengan una contribución que realizar y una visión que entregar respecto del buen uso y ordenamiento del sistema hídrico, que corresponde al área de acción. Es en estas redes donde se espera que se originen los intercambios y flujos de información, que impulsen las acciones y programas específicos y las coordinaciones entre privados y entes públicos.
- c. Construir, validar e impulsar Agendas del Agua en el ámbito geográfico de la acción: Las MA tendrán la responsabilidad de definir una Agenda del Agua, sobre la base de las vocaciones productivas y los contextos socio culturales locales, en concordancia con la respectiva Estrategia Regional de Desarrollo y el Programa Regional de Gobierno, correspondiente a la zona de intervención. Es su tarea de construir y validar dicha Agenda a través de mecanismos convocantes y participativos, a fin de consensuar, con todos los actores interesados, visiones estratégicas de mediano y largo plazo, que orienten la acción de la Mesa del Agua respectiva. Igualmente, tienen la función de implementar un sistema de seguimiento de la Agenda del Agua, que haga posible monitorear sistemáticamente sus avances y dar cuenta pública de ellos de manera periódica.
- d. Facilitar la coordinación y articular iniciativas de interés público y privado, destinadas al logro de los propósitos del Programa: Una función central de las MA, será estimular acuerdos y compromisos entre actores públicos y privados para abordar



iniciativas que mejoren las capacidades respecto del uso del agua y el ordenamiento general del sistema hídrico, fortaleciendo sinérgicamente las actividades productivas dependientes del agua y los usos *in situ*. Es tarea también de las MA, coordinar el trabajo conjunto entre las diversas entidades de fomento y evitar la duplicación de esfuerzos.

- e. Proveer información y contribuir a la educación sobre los temas del agua: Otra finalidad de las MA, será proporcionar a los interesados -empresas, personas, inversionistas y otros- información sobre las características del sistema hídrico local y sus múltiples relaciones económicas, sociales y ambientales. Así mismo, podrá ofrecer asesorías para la orientación, diseño y puesta en marcha de acciones privadas que surjan en el ámbito de los programas específicos o de la iniciativa privada en consonancia con las Agendas del Agua. Las MA tendrán también la misión permanente de impulsar planes que incidan a todo nivel, en la educación sobre los temas del agua.
- f. Favorecer un entorno propicio para negociaciones y acuerdos, y aplicación de programas y acciones: Las MA deberán cumplir un papel determinante en cuanto a favorecer condiciones territoriales e institucionales de entorno propicio para la instalación de mesas de negociación en los sectores y condiciones que ameriten tales procedimientos. Dada su composición y mirada estratégica, las MA deben contribuir a crear condiciones y espacios estimulantes para el logro de acuerdos que se encaminen a la consecución de los propósitos, estimulando modificaciones productivas, innovaciones tecnológicas y competencias para la gestión en el manejo del agua. Para estos fines las MA pueden destinar capacidades y recursos para contar con gestión experta, que contribuya a superar escollos y agilizar coordinaciones esenciales, tales como infraestructura, calificación de los recursos humanos, investigación y desarrollo, marco regulatorio, financiamiento, aspectos medioambientales y otros. Con este mismo objetivo, pueden asesorar al Gobierno Regional en el proceso de coordinación de inversiones de importancia que tengan relación con la gestión del agua.

### **23.5.2 Estrategia para la Dimensión social**

En esta dimensión la política busca *"Asegurar la participación y acceso de todos los interesados en el agua, en las decisiones que se tomen respecto a la gestión y usos del recurso"*, para esto se proponen las siguientes líneas estratégicas.

#### **23.5.2.1 Acceso equitativo a la información**

Para que el mercado, como ha sido definido en el código de aguas de 1981, funcione de la manera más óptima posible para todos los usuarios del agua en una cuenca, es necesario que todos éstos tengan acceso a la información suficiente para su participación en transacciones en el mercado, de otra forma, aquellos con mayor disponibilidad de información se sitúan en una posición ventajosa a la hora de comprar o vender derechos de aprovechamiento, frente a aquellos con menores capacidades para acceder a la misma información, generando una condición de inequidad.



**Objetivo:** Transparentar las transacciones de derechos de aprovechamiento a todos los interesados en los recursos hídricos de las diferentes cuencas del país.

**Líneas de acción:**

3. Sistematización de los derechos de aprovechamiento existentes en la cuenca y generación de una base de datos, coincidente con el catastro público de aguas, que esté disponible en pequeñas localidades y a nivel de OUAs, para asegurar su acceso a toda escala espacial.

Responsable(s) directos de ejecución : DGAs regionales, conservadores de bienes raíces, OUAs

Plazo estimado de implementación : Corto plazo, pero permanente actualización

4. Difusión de eventos relacionados con la disponibilidad de derechos de aguas (remate, asignaciones y otros) a nivel local a través de las OUAs y medios de prensa locales escritos y radiales, con tiempo suficiente para que sea conocido por toda la comunidad interesada.

Responsable(s) directos de ejecución : Propietarios del derecho a rematar, OUAs, DGA

Plazo estimado de implementación : Corto plazo

**23.5.2.2 Rigidez en el ejercicio de derechos de aprovechamiento**

La condición de perpetuidad de los derechos de aprovechamiento (excepto en casos de no uso), así como el hecho de estar inscritos en el conservador de bienes raíces (al igual que otros bienes inmuebles), con caudales fijos asignados (que se encuentran en una ubicación específica y con pocas o nulas posibilidades de movimiento), limita la gestión de los derechos de aprovechamiento en función de la variación de la oferta del sistema natural. Así en casos de escasez en una cuenca o curso de agua, se produce el agotamiento físico de este bien de uso público, aumentando los conflictos entre usuarios y afectando las funciones ambientales del agua.

**Objetivo:** Permitir la gestión de la demanda de agua dada por los derechos de aprovechamiento en función de la oferta hídrica del sistema en condiciones de escasez.

**Líneas de acción:**

5. Entregar a DGA las atribuciones para intervenir aquellas fuentes de agua que presenten condiciones de escasez, para administrar la distribución de aguas en alcúotas entre los usuarios. Las atribuciones específicas de la DGA dependerán según se trate de eventos de sequía extremos o escasez permanente.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA

Plazo estimado de implementación : Corto plazo



6. Promover la modificación de las inscripciones de derechos de aprovechamiento expresados en caudal rígido, a derechos variables (alícuotas) en función de la escasez.

Responsable(s) directos de ejecución : Poder Legislativo en coordinación con DGA  
Plazo estimado de implementación : Largo plazo

### **23.5.2.3 Resolución de conflictos**

Actualmente, la única vía formal para la resolución de conflictos entre usuarios del agua son los tribunales de justicia. Informalmente, es común que los usuarios de una cuenca recurran a la junta de vigilancia o DGA para arbitraje (ya que ven en éstas instituciones confiables, independiente de que sus atribuciones formales no se relacionen con la mediación de conflictos). Estos medios no son completamente eficientes para los diversos tipos de conflictos que se pueden generar alrededor de los recursos hídricos.

**Objetivo:** Desarrollar nuevas medidas, y mejorar las ya existentes, para la resolución de conflictos relacionados con el agua.

#### **Líneas de acción:**

Las estrategias que apuntan a la consecución de este objetivo son variadas y abarcan diferentes espectros e involucrados. En la sección 24 se desarrollan con detalle las estrategias que se proponen, que son en síntesis las siguientes:

7. Negociación previa a través del fortalecimiento de las Mesas de Agua.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, CONAMA  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

8. Subsidio en la compra de derechos de aprovechamiento para usos extractivos de escasos recursos económicos, que serán caducables por no uso y no transables en el mercado.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, CONADI, INDAP  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

9. Medición y fiscalización del uso de los derechos de aprovechamiento, para evitar extracciones irregulares.

Responsable(s) directos de ejecución : OUs  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

10. Fortalecimiento organizacional (herramientas de mediación, conocimientos técnicos, programas de educación ambiental, mecanismos de participación, etc.) de Organizaciones de Usuarios del Agua.



Responsable(s) directos de ejecución : DGA, OUAs  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

11. Mediación judicial asistida, a través de la constitución de un sistema nacional de mediación, complementario y alternativo a los tribunales de justicia.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, OUAs, poder judicial, COREMAS  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

#### **23.5.2.4 Reconocimiento de género**

Actualmente, no existe inclusión de género dentro de la gestión del agua en Chile, tema relevante ya que al desarrollar una participación efectiva y completa de las mujeres en todos los niveles de toma de decisiones, se debe considerar la manera en la que diferentes comunidades asignan papeles sociales, económicos y culturales particulares a los hombres y las mujeres. Este factor ha sido reconocido como uno de los cuatro principios rectores de la declaración de Dublin de 1992 y de la GIRH.

**Objetivo:** Reconocer el rol de la mujer en la gestión del agua, especialmente a escala de cuencas, incluyéndola en la toma de decisiones.

#### **Líneas de acción:**

12. Fomentar la participación de mujeres en las Mesas de Agua, incentivando la inclusión de mujeres administradoras del hogar, representantes de organizaciones sociales y microempresarias con intereses particulares en los recursos hídricos.

Responsable(s) directos de ejecución : OUAs, DGA, PRODEMU  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

#### **23.5.2.5 Educación formal sobre los recursos hídricos**

El agua es un recurso que afecta la vida de toda persona, su uso eficiente y consiente, por lo tanto, depende de las acciones de toda la sociedad al respecto, ya sea en situaciones cotidianas y domésticas, o bien, por otras relacionadas con actividades productivas y recreativas. La última campaña de uso eficiente del agua y energía (gatilladas por la crisis de abastecimiento de gas natural) generaron un cambio en las costumbres cotidianas de la población y el consumo eléctrico del Sistema Interconectado Central entre marzo y junio del 2008 se redujo en 4,2% en comparación con el mismo período del año 2007 (Comisión Nacional de Energía 2008), lo que da indicios de lo efectivo que resulta apuntar hacia la educación de la población en estas materias.

**Objetivo:** Entregar herramientas técnicas y conceptuales, a todo individuo, para concientizar y fomentar el uso eficiente y consiente del recurso.



### Líneas de Acción:

13. Capacitación, en el uso eficiente del agua en el hogar y cultivos de subsistencia, a actores claves de comunidades rurales. La comunicación a partir de actores claves de una comunidad incentiva el interés en el resto de las personas en interiorizarse en cómo mejorar y hacer más efectivo el uso del agua en los hogares y cultivos. Así mismo, permite comenzar a crear un equipo de personas capacitadas que puedan continuar transmitiendo los conocimientos y generando iniciativas propias.

Responsable(s) directos de ejecución : Municipios, INDAP, OUAs, DGA regional  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

14. Educación en colegios y escuelas. Integrar el adecuado uso del agua como un tema transversal es una medida que puede impactar directamente en las costumbres de una familia y por ende de la sociedad. Se propone incluir cambios en colegios y escuelas, que vayan directa y explícitamente enfocados hacia el uso eficiente del agua, y a la valoración del recurso como sustento de las actividades humanas y la vida. Por ejemplo, talleres de uso del agua, que muestren a los alumnos las implicancias prácticas del uso ineficiente del recurso y enseñe herramientas y medidas que puedan revertirlo; políticas a nivel de establecimiento escolar que promuevan el uso sustentable del agua, como el riego de jardines con aguas recicladas, uso de artefactos eficientes, entre otros, e incentivar la participación de los alumnos en ello.

Responsable(s) directos de ejecución : Municipios, MINEDUC, direcciones de colegios y escuelas.  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

15. Capacitación en educación superior. Es esencial que los profesionales chilenos, que se están educando en la actualidad, reciban los conceptos básicos relacionados con el uso del agua, independiente de su área de formación, ya que ellos son los llamados a marcar tendencias y por lo tanto sus costumbres y hábitos en este aspecto debiesen estar acordes a las políticas que busca establecer el país. Esto se puede lograr a través del incentivo de políticas a nivel de Universidades para la creación de cursos de formación general y talleres enfocados en estos temas, también a través de la participación de las Federaciones de Estudiantes, que normalmente generan talleres para el estudiantado.

Responsable(s) directos de ejecución : MINEDUC, Concejo de rectores, Universidades, Federaciones de estudiantes.  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

16. Fomento a la creación de fondos de financiamiento para la investigación de temas relacionados con los recursos hídricos, especialmente estudios empíricos que permitan determinar los impactos reales que ha provocado el funcionamiento del Código de Aguas de 1981 en Chile, y proyectos tecnológicos, que busquen abaratar costos en la implementación de tecnologías de reutilización del agua, uso eficiente en la industria, artefactos ecológicos, entre otros.



Responsable(s) directos de ejecución : CONICYT, programa CORFO-INNOVA, CORFO, entre otros.  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

17. Campañas de sensibilización a nivel nacional. El uso sustentable del agua es un tema nacional, y así también es su agotamiento, situación que se ha vuelto cada vez más crítica. Campañas enfocadas específicamente en el uso del agua (más allá del tema energético) son necesarias para informar al país de la situación que se atraviesa, así como para generar conciencia de que las acciones que se requieren para revertirla deben provenir de toda la población, y no solamente de los usos productivos.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

18. Establecer un sistema permanente de capacitación para las Organizaciones de Usuarios de Aguas y a los usuarios, con beneficios tributarios (OUAs no descuentan IVA).

Responsable(s) directos de ejecución : OUAs, SENCE, DGA.  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

### **23.5.3 Estrategia para la Dimensión ambiental**

A través de esta política, se busca "*Reconocer al agua como componente vital de los ecosistemas y con innumerables funciones ambientales*", para esto se proponen las siguientes medidas.

#### **23.5.3.1 Reconocimiento legal de usos *in situ*, ambientales y ecosistémicos**

El Código de Aguas no reconoce como un uso a aquel que corresponde a los usos *in situ*. Esto significa que actividades como el turismo, la mantención de ecosistemas en áreas protegidas, u otros similares, no tienen ninguna protección legal, y de hecho, podrían estar afectos al pago de patentes por no uso (como es el caso del turismo directo en ríos y lagos). Esta situación que no está contemplada en el código de aguas, en conjunto con otros factores, permiten que haya cursos de agua completamente secos (agotamiento físico), perjudicando a la flora y fauna, e incidiendo negativamente en la recarga de acuíferos. El reconocimiento del uso ambiental del agua implica dejar de verlo sólo como un recurso productivo, y pasar a verlo como sustrato de vida, un componente natural y fundamental de los ecosistemas, y por tanto, de los recursos naturales en general.

**Objetivo:** Proteger los usos *in situ*, con el fin de llegar a su reconocimiento legal.



### **Líneas de acción:**

19. Inclusión legal del uso ambiental del agua. Sus derechos de aprovechamiento serían administrados por la DGA, CONAMA o las Municipalidades, y estarán exentos de pago de patentes por no uso.

Responsable(s) directos de ejecución : Ministerio del Interior, Poder Legislativo, DGA, Gobiernos locales, Ministerio de Bienes Nacionales.

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

20. Compra o expropiación de derechos de aprovechamiento por parte del Estado, o acceso prioritario a derechos renunciados con el fin de destinarlos a caudal ecológico o patrimonial, como una forma de complementar la inclusión legal del uso ambiental.

Responsable(s) directos de ejecución : Ministerio del Interior, Ministerio de Obras Públicas, DGA, CONAMA

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

21. Fomentar la devolución de derechos de agua a través de subsidios del Estado. La optimización en el uso del agua permitiría aumentar la producción en un porcentaje, y liberar caudales no utilizados en otro porcentaje.

Responsable(s) directos de ejecución : Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Agricultura

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

### **23.5.3.2 Concepto de disponibilidad**

El concepto actual de disponibilidad de agua se refiere a cálculos hechos sobre los derechos otorgados, que no incorpora las diferencias en la eficiencia del uso de las aguas, ni el dinamismo que se produce cuando los derechos otorgados son traspasados a usos más o menos eficientes que el anterior. Tampoco incorpora la interrelación existente entre aguas superficiales y subterráneas, ni la variabilidad climática y las proyecciones de cambio climático estimadas sobre variables como precipitación, temperatura y evapotranspiración. Esta rigidez incide en que la determinación de los caudales superficiales y subterráneos disponibles no se realice con información suficiente ni actualizada, imprecisiones que traen como consecuencia una sobre estimación de la disponibilidad real del agua, conflictos entre usuarios por la escasez del recurso, agotamiento legal y físico de las aguas, y otros.

**Objetivo:** Reasignación de derechos de agua en función de una reevaluación de los recursos disponibles, que considere la variabilidad y fenómenos climáticos, las proyecciones realizadas sobre cambio climático, y la actualización del catastro público de aguas con información del uso que se le entrega y de la eficiencia utilizada.



### Líneas de acción:

22. Actualización de las estimaciones de disponibilidad de agua a nivel de cuencas y subcuencas, considerando la interrelación entre aguas superficiales y subterráneas, los ciclos hidrológicos de cada cuenca, la variabilidad natural de cursos de agua y las proyecciones estimadas de variación en función del cambio climático.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, Instituto Geográfico Militar, INDAP, Dirección Meteorológica de Chile, CONAMA, MINAGRI, y otras instituciones que han desarrollado estudios sobre variabilidad y cambio climático

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

23. Corrección de la asignación de derechos de aprovechamiento en función de la estimación de disponibilidad de aguas. Se requiere una modificación legal, y probablemente una expropiación de las aguas, con la consecuente indemnización por parte del Estado.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, Poder Legislativo, Ministerio del Interior

Plazo estimado de implementación : Largo plazo

#### **23.5.3.3 Fiscalización limitada**

Actualmente la Dirección General de Aguas tiene la función de fiscalizar el uso de las aguas en fuentes naturales en el país en situaciones de ilegalidad (ya sea por extracciones sin derechos de aprovechamiento, o en puntos diferentes a los autorizados para captación), aunque no tiene atribuciones para cursar multas. En cuanto a los problemas de calidad del agua, comparte atribuciones con otros organismos, como por ejemplo, de la SISS, el Ministerio de Salud y el SAG. A lo anterior se suma que la existencia de una unidad de fiscalización en la DGA es reciente (año 2004, DGA 2009) y la dotación de fiscalizadores es insuficiente para realizar la labor en terreno<sup>86</sup>. No obstante, es positivo que se considere la usurpación de aguas como delito penal (La Tercera 2009b). Respecto de la intervención de cauces, es necesario resguardar los ecosistemas ribereños, ya que su alteración causa cambios en el paisaje y en los patrones hidrológicos de los cauces, teniendo consecuencias en el control de crecidas, que se dificulta al encontrarse con variaciones en las orillas.

**Objetivo:** Fortalecer la fiscalización en el uso de las aguas y los cauces.

### Líneas de acción:

24. Proporcionar a la DGA el presupuesto necesario para aumentar la dotación de fiscalizadores en terreno y los medios para realizar su labor.

Responsable(s) directos de ejecución : Ministerio de Hacienda, Poder Legislativo, DGA

<sup>86</sup> Comunicación personal con Raúl Valenzuela, profesional de la Unidad de Fiscalización de la DGA en Copiapó, 8 de junio de 2009.



Plazo estimado de implementación : Corto plazo

25. Entregar atribuciones a la DGA para cursar multas por uso ilegal del agua. Requiere de modificaciones legales, atribuyendo la calidad de ministro de fe a los fiscalizadores y acciones concretas o materiales además de la infracción, para poder detener extracciones ilegales en forma efectiva.

Responsable(s) directos de ejecución : Poder Legislativo, Ministerio del Interior  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

26. Perfeccionamiento de la normativa vigente para una mayor regulación de la actividad de extracción de áridos desde cauces, tomando en cuenta parámetros hidrológicos, historial de crecidas, medidas de mitigación de los impactos y obligación de establecer planes de cierre, incluyendo como mínimo el relleno de los cauces una vez terminada la obra, incluyendo acciones materiales más allá de las multas, como se señala en la línea de acción anterior.

Responsable(s) directos de ejecución : Poder Legislativo, DIRECTEMAR, Juntas de Vigilancia  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

27. Redefinición de la autoridad competente y los requisitos necesarios para permitir las actividades de extracción de áridos, que compatibilicen esta actividad con las funciones ecosistémicas e hidrológicas de los cauces.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, CONAMA (a través del SEIA)  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

28. Fortalecer la fiscalización de las organizaciones de usuarios, ya que son los actores más directos y no siempre cumplen su función de fiscalización.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, OUAs (especialmente juntas de vigilancia)  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

29. Revocar la autofiscalización de las emisiones de contaminantes (DS 90, DS 46 y DS 609) y entregar a la SISS las atribuciones, y los recursos humanos y económicos para el desarrollo de esta función.

Responsable(s) directos de ejecución : SISS, MOP  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

#### **23.5.3.4 Red de medición y monitoreo de cobertura insuficiente**

Chile cuenta con una red de monitoreo en el país que requiere de más estaciones de monitoreo, que posean una mayor cobertura espacial y temporal (por ejemplo, en zonas



como secano, estaciones a más de 1000 msnm, monitoreo nieves y glaciares, objetivos diversos, entre otros). Además, no existe una sola institución a cargo de las redes de monitoreo, y las instituciones que tienen estaciones de medición no coordinan sus esfuerzos para complementar la información que generan. El conocimiento del comportamiento espacial y temporal de las aguas, y de su calidad, es insuficiente para realizar una asignación y fiscalización adecuadas, contribuyendo a la inexactitud de información sobre agua disponible y poniendo limitaciones al control de extracciones, al control de la calidad del agua, y haciendo que la toma de decisiones sea tardía e ineficiente en torno a eventos extremos o problemas de contaminación.

**Objetivo:** Fortalecimiento de la actual red de monitoreo de la cantidad y calidad del agua, aprovechando sus ventajas de cobertura y continuidad temporal.

### **Líneas de acción:**

30. Coordinación entre organismos que mantienen redes de información. Se busca conocer la información que cada estación genera, establecer compatibilidad y complementariedad entre dichas estaciones, con el fin de obtener claridad sobre la información y los vacíos existentes. Se propone a la DGA como unidad coordinadora.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, Dirección Meteorológica de Chile, INDAP, Armada de Chile, y otras instituciones con redes de medición (OUAs, SAG, CONAMA, Servicios Salud, otros)

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

31. Disponibilidad del financiamiento necesario para el perfeccionamiento de las mediciones actuales y el establecimiento de nuevas estaciones de monitoreo en tiempo real, tanto de cantidad como de calidad.

Responsable(s) directos de ejecución : Ministerio de Hacienda y Poder Legislativo, DGA, instituciones públicas que cuentan con redes de medición

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

32. Disponibilidad de financiamiento para aumentar la dotación de profesionales a nivel de cuenca, para el uso y gestión de la información para la toma de decisiones.

Responsable(s) directos de ejecución : Ministerio de Hacienda, Poder Legislativo, DGA

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

33. Entrega de información especialmente enfocada en usuarios de la cuenca, y los actores locales o que deben tomar acciones concretas o específicas, de manera que les sea comprensible y facilite su utilización a futuro.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, OUAs, municipalidades

Plazo estimado de implementación : Corto plazo



### **23.5.3.5 Transacción de derechos de aprovechamiento**

La inadecuada definición de los derechos de aprovechamiento de agua genera externalidades negativas por la disminución de flujos de retorno. Los cambios en la propiedad y aprovechamiento del agua desde usos ineficientes (agricultura tradicional) a usos eficientes (agricultura tecnificada, minería e industria) reduce los flujos de retorno de agua al sistema hídrico, situación no considerada en la distribución inicial de derechos totales en un cuerpo de agua. Además, las transacciones pueden implicar cambios en los puntos de captación y devolución de las aguas que afectan a los demás usuarios de la cuenca, especialmente aquellos ubicados aguas abajo, quienes satisfacen sus necesidades con los flujos de retorno que se incluyen en los derechos transados.

**Objetivo:** Perfeccionar los criterios de aceptación de transacciones.

#### **Líneas de acción:**

34. Realizar y mantener un catastro de los derechos consuntivos efectivamente utilizados y de los flujos de retorno asociados a estos derechos, con información de cantidad de agua y puntos de captación y devolución.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, Conservador de Bienes Raíces, OUAs, Mesas del Agua  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

35. Redefinir los derechos de aprovechamiento relacionados con los flujos de retorno. Se propone incluir el criterio de factores de uso utilizado en la asignación de aguas subterráneas, para el uso de las aguas superficiales. Se reconoce la necesidad de un cambio legal en este punto.

Responsable(s) directos de ejecución : Ministerio del Interior, DGA, Organizaciones de Usuarios de Agua, Mesas del Agua  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

### **23.5.3.6 Infraestructura de medición en la distribución de caudales**

La infraestructura existente que permite la medición y repartición de caudales no es totalmente eficiente en la distribución de las aguas, permitiendo extracciones irregulares (legales e ilegales) de agua desde fuentes naturales y artificiales.

**Objetivo:** Mejorar la eficiencia de distribución de aguas mejorando la infraestructura de canales. No considera la impermeabilización de canales.

#### **Líneas de acción:**

36. Controlar la entrega de caudales mediante sistemas eficientes de medición, como válvulas, aforadores u otros, contempla la entrega de bonos o subsidios para el apoyo de usuarios de menores recursos.

Responsable(s) directos de ejecución : Privados, Organizaciones de Usuarios del



Agua, Ministerio de Agricultura, CONADI,  
Ministerio de Hacienda, INDAP, CNR.

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

### **23.5.3.7 Gestión separada de aguas superficiales y subterráneas**

La gestión de aguas subterráneas y superficiales no se encuentra integrada en la asignación ni en el uso del agua en Chile. Su determinación no considera las interrelaciones entre ellos y por tanto, no se considera en su entrega ni en su uso, trayendo problemas de sobre explotación del sistema hídrico, agotamiento de acuíferos y de fuentes de agua superficiales.

**Objetivo:** Integrar la gestión de aguas superficiales y subterráneas.

#### **Líneas de acción:**

37. Entregar la administración de las aguas subterráneas a las organizaciones que administran las aguas superficiales, para promover el manejo integrado de los recursos hídricos subterráneos y superficiales.

Responsable(s) directos de ejecución : Organizaciones de Usuarios de Agua  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

38. Especialización de profesionales para la regulación y fiscalización de DGA en relación a lo que ocurre con las aguas subterráneas. Estas acciones están ligadas a las acciones propuestas para el fortalecimiento de la fiscalización de la DGA.

Responsable(s) directos de ejecución : Dirección General de Aguas  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

39. Implementar un sistema obligatorio de control de extracción de aguas subterráneas, con subsidios para su implementación, comenzando en cuencas más críticas, para luego ir ampliando la cobertura a otras zonas.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, OUAs  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

40. Desarrollar sistemas o planes de manejo que involucren el uso conjunto de los recursos de agua superficial y subterránea, tales como utilizar los acuíferos como fuente natural de almacenamiento, y extraer agua de ellos sólo en tiempos de escasez de recursos superficiales. Es necesario fortalecer institucionalmente la capacidad de gestión de los recursos subterráneos y la infraestructura que permita la reasignación eficiente de recursos superficiales y subterráneos.

Responsable(s) directos de ejecución : OUA, Dirección General de Aguas  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo



### **23.5.3.8 Gestión separada de la cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas**

Los problemas de calidad de las aguas están directamente relacionados con la cantidad de agua disponible para diluir o soportar las diversas cargas contaminantes que reciben los cuerpos de agua superficial y subterránea. Esto incide en los problemas de degradación de cauces y en problemas de contaminación puntual, difusa y degradación de la calidad producto de la sedimentación, a lo que se suma dificultades de fiscalización que se derivan de los problemas anteriores.

**Objetivo:** Integrar la gestión de cantidad y calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

#### **Líneas de acción:**

41. Entregar la administración y control de la calidad de las aguas a las organizaciones de usuarios de agua, OUA (que administran las aguas superficiales) de manera que administren conjuntamente la calidad y la cantidad del agua que distribuyen. Requiere además el fortalecimiento de las Mesas del Agua (ver más detalle en la sección *Programa de Mesas del Agua (PMA)*, en las propuestas de instrumentos para el uso eficiente del agua) para adquirir las destrezas necesarias, y establecer canales de comunicación efectivos con la DGA y otros organismos que velan por el cumplimiento de normas de calidad.

Responsable(s) directos de ejecución : Organizaciones de Usuarios de Agua, DGA, SISS, Ministerio de Salud, SAG, CONAMA y otros organismos públicos que velan por la calidad de las aguas

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

42. Creación de planes de prevención y recuperación de cuencas hidrográficas, similares a los planes que se ejecutan para el recurso aire (ver más detalle en la sección 25 *Propuestas de desarrollo de instrumentos de uso eficiente del agua, incentivos a la innovación y transferencia tecnológica*).

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, CORFO

Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

43. Fomentar la implementación de certificaciones ambientales entre los usuarios de agroquímicos y de residuos peligrosos, de manera de reducir su uso y promover prácticas de bajo impacto ambiental.

Responsable(s) directos de ejecución : Ministerio de Agricultura, INDAP

Plazo estimado de implementación : Corto plazo

44. Fomento del uso de un sistema de pago por servicios ambientales en las cuencas y específicamente en las OUs.

Responsable(s) directos de ejecución : Mesas del Agua, Acción conjunta de CONAMA



Plazo estimado de implementación : Corto plazo y otros Ministerios

45. Aumentar la capacidad depuradora de las plantas de tratamiento de aguas servidas e industriales exigiendo el tratamiento terciario o químico de los efluentes.

Responsable(s) directos de ejecución : Empresas sanitarias, industrias, SISS, APR.  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

46. Coordinar las acciones del Estado en el desarrollo de programas de conservación de suelos y bosques con el objetivo de disminuir la erosión del suelo, y con ello aminorar la carga de sedimentos que llegan a los cuerpos naturales de agua.

Responsable(s) directos de ejecución : CONAF, SAG, CONAMA, Ministerio de Agricultura. Pueden colaborar otros organismos del área silvoagropecuaria, municipalidades, ONG locales, entre otros  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

47. Fortalecer el rol institucional de la SISS y establecer mecanismos de trabajo conjunto con las Organizaciones de Usuarios de Agua como fiscalizadoras de la calidad de las aguas en aquellas de su jurisdicción, así podrían reducirse los eventos de contaminación de las fuentes de agua.

Responsable(s) directos de ejecución : OUA, SISS, CONAMA  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

### **23.5.3.9 Gestión de los recursos hídricos en función de su variabilidad natural**

La gestión actual de los recursos hídricos no ha considerado algunas de las cuestiones más elementales de la hidrología, como es la continuidad del ciclo hidrológico y el carácter aleatorio de sus variables. La falta de información ha incidido en la baja capacidad técnica para reaccionar a eventos extremos como crecidas, sequías, inundaciones, y problemas de más largo aliento, como la desertificación y la escasez del agua. A su vez, no considera la vulnerabilidad de las cuencas, el crecimiento de las urbes, el uso ilegal de agua y la expansión de las fronteras agrícolas en relación a la oferta hídrica variable.

**Objetivo:** Disponer de información actualizada que permita gestionar los recursos hídricos considerando la variabilidad propia de los ciclos hidrológicos de las cuencas.

#### **Líneas de acción:**

48. Desarrollar programas de investigación en función de la demanda local de las OUAs y de la DGA, que identifiquen las características elementales y particulares del



ciclo del agua para cada cuenca, y propongan estrategias orientadas a mejorar la gestión de los recursos.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, Universidades, Centros de Investigación, Dirección Meteorológica de Chile, Gobiernos regionales, MINAGRI  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

49. Elaborar estudios de sensibilidad del ciclo hidrológico a fenómenos climáticos como El Niño y La Niña, y a sus eventos extremos asociados (crecidas, inundaciones, sequías). Continuar y completar la información de sensibilidad de los ciclos hidrológicos ante las proyecciones actuales de cambio climático.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, Universidades, Centros de Investigación, Dirección Meteorológica de Chile  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

50. Desarrollar instrumentos para el combate de la desertificación y para la mitigación de eventos extremos cuyos impactos afectan más allá de los usuarios del agua de la cuenca.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA, Universidades, ONEMI, Centros de Investigación, Dirección Meteorológica de Chile, Ministerio de Agricultura  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

#### **23.5.4 Estrategia para la Dimensión económica**

A través de esta estrategia se busca *"Dotar al Estado de una mayor capacidad de regulación del mercado a través de instrumentos económicos u otros"*, para concretarlo se proponen las siguientes medidas.

##### **23.5.4.1 Costos de transacción y transporte**

La transferencia de los derechos de agua en el modelo de mercado presenta ciertos costos de transacción relacionados con la modificación de la infraestructura física para distribuir las aguas, con la capacidad de gestión adecuada que las organizaciones de usuarios tienen para operar y mantener las obras de riego a su cargo y con los trámites para registrar la transacción. En Chile, a excepción de algunas cuencas particulares (ej. Cuenca del Río Limarí), los costos de transacción y transporte, muchos de éstos inevitables, son relativamente altos, debido a la rígida e inadecuada infraestructura presente y a la escasa información sobre las características legales e hidrológicas de los derechos de agua, el costo de medidas alternativas de obtener agua y la frecuencia de sequías e inundaciones entre otras.



Adicionalmente, cabe indicar que los niveles observados de actividad del mercado están estrechamente vinculados con la disponibilidad de infraestructura, siendo los mercados del agua más dinámicos los que se ubican en las zonas con asociaciones de usuarios bien organizadas y con mejor infraestructura, especialmente dentro de sistemas con embalses de regulación y cuyos canales han sido diseñados para adaptarse a condiciones cambiantes. En contraste, en zonas donde no hay almacenamiento y los sistemas de distribución son poco flexibles se ha registrado tan solo transacciones esporádicas y con mucha variedad en precios.

Por último una debilidad del sistema chileno que genera un aumento en los costos de transacción es la deficiente constitución de muchos de los derechos y una falta de formalización de éstos (ej. no están registrados en el Conservador de Bienes Raíces) y de conocimiento de sus características esenciales (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

**Objetivo.** Fomentar las transacciones de derechos de agua en el mercado

**Líneas de acción:**

51. Modernización de la infraestructura hidráulica mejorando los sistemas de captación y distribución del agua. La utilización de sistemas de "compuertas" para dividir el caudal asignado a diferentes usuarios, permiten una mayor flexibilidad para transferir el agua y contribuyen a reducir los costos de transporte porque pueden modificarse los caudales sin modificar la infraestructura misma. Requiere mayor control del comportamiento del usuario y de las OUAs.

Responsable(s) directos de ejecución : OUAs, Dirección de Obras Hidráulicas, DGA  
Plazo estimado de implementación : Mediano-Largo plazo

52. Implementación de un sistema de información de fácil acceso que incluya, entre otras, las características legales e hidrológicas de los derechos de agua, el costo de medidas alternativas de obtener agua y datos climáticos e hidrológicos que permitan pronosticar ciclos de sequía e inundación.

Responsable(s) directos de ejecución : DGA  
Plazo estimado de implementación : Mediano-Largo plazo

53. Regularización de los derechos de aprovechamiento en el Conservador de Bienes Raíces. Además, servicios relacionados al recurso hídrico (SISS, CNR, entre otros) no debieran admitir acciones o proyectos sin los derechos inscritos.

Responsable(s) directos de ejecución : OUAs, DGA.  
Plazo estimado de implementación : Corto plazo

**23.5.4.2 Sistema de asignación proporcional.**

En virtud del Código de Aguas, si la fuente de abastecimiento no contiene la cantidad suficiente de agua para satisfacer todos los derechos permanentes en su integridad, el caudal debe distribuirse en partes alícuotas. En un sistema de asignación proporcional



los usuarios que necesitan un suministro confiable pueden reducir la probabilidad de escasez sólo mediante la posesión de más derechos de agua que sus necesidades promedio. Ello suele introducir algunas ineficiencias y fomentar el acaparamiento. Este fenómeno puede observarse en muchas áreas de Chile donde muchos agricultores retienen lo que podría denominarse derechos "excedentarios" para tener un suministro de agua seguro en los años secos (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

En los años normales estos derechos "excedentarios" no se usan, beneficiando a otros usuarios aguas abajo, o se arriendan, pero no suelen estar a la venta. Los altos costos de transporte, así como otros factores, limitan la posibilidad de arriendos a usuarios que comparten un mismo canal o sistema hídrico interconectado relativamente pequeño. Además, es importante señalar que el elevado nivel de riesgo de no disponibilidad y mayor incertidumbre que caracterizan el arriendo, sumados al hecho de que es poco probable que esta agua esté disponible durante los períodos de escasez, suelen impedir su aplicación a aquellas actividades económicas que le asignan el máximo valor al suministro confiable de agua. Por ende, habría un mayor volumen de agua en arriendos de corto plazo y, por tanto, en usos de menor valor, que en un sistema prioritario (Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

**Objetivo.** Revitalizar el mercado, disminuyendo ineficiencias en la asignación del recurso y su acaparamiento.

#### **Líneas de acción:**

54. Mejoramiento de los sistemas de captación y distribución de los canales con el objeto de promover el arriendo de flujos de retorno especialmente durante años normales.

Responsable(s) directos de ejecución : Dirección de Obras Hidráulicas,  
Organizaciones de Usuarios  
Plazo estimado de implementación : Mediano plazo

#### **23.5.4.3 Tradición conservadora de los usuarios**

La tradición conservadora de los usuarios se puede observar principalmente en sector agrícola, donde se caracterizan por su renuencia a suscribir transferencias permanentes. Salvo ciertas excepciones, en general los agricultores no tienen un claro conocimiento ni de la cantidad de agua que utilizan, ni de los aportes que ésta realiza en términos productivos (Urrutia, 1994 citado por Dourojeanni y Jouravlev, 1999). Tampoco existe una clara valoración económica del recurso, pero sí un sentimiento de necesidad de mantener sus derechos independientemente del precio (Dourojeanni y Jouravlev, 1999). Las tradiciones de riego de los españoles combinada con la constante amenaza de sequía, refuerza la arraigada determinación del agricultor chileno a aferrarse a sus fuentes de agua, casi a cualquier costo (Bauer, 2002).

Por otra parte, pese a que legalmente el agua ya no se considera como un bien accesorio a la tierra, muchos agricultores siguen creyendo instintivamente que los derechos de agua no deben ser comprados ni vendidos separados de las tierras, ni tampoco tratados como cualquier mercancía (Bauer, 2002). Esta tradicional integración de la tierra y el agua ha provocado que la venta de derechos de aprovechamiento se vea



perjudicada si ésta no es acompañada por la venta del terreno correspondiente (Hearne y Donoso, 2005).

**Objetivo.** Incentivar las transacciones de derechos de aprovechamiento por parte de los agricultores incentivando un cambio en su comportamiento tradicional como actor en la venta y compra de derechos de agua.

**Líneas de acción:**

55. Instaurar un sistema de capacitación para que este tipo de usuario pueda informarse de mejor manera de la normativa legal e institucional que rigen el manejo y la gestión del agua.

Responsable(s) directos de ejecución : Organizaciones de Usuarios. Dirección General de Aguas  
Plazo estimado de implementación : Corto-Mediano plazo

56. Disminuir los costos de transacción con el objeto de incentivar a que los compradores puedan ofrecer mayores precios a los dueños de derechos. En teoría el precio debería ser más alto que el de la tierra con riego. Para los agricultores la tierra sin agua prácticamente no tiene valor en las regiones semiáridas de Chile. Debido, entre otros factores, a los altos costos de transacción los compradores potenciales no han ofrecido precios lo suficientemente altos como para compensar el valor de los derechos de agua como "seguro contra la sequía" (Bauer, 2002)

Responsable(s) directos de ejecución : Organizaciones de Usuarios. Dirección General de Aguas, Dirección de Obras Hidráulicas  
Plazo estimado de implementación : Corto-Mediano plazo

**23.5.4.4 Elevado nivel de riesgo en cuanto a precios y disponibilidad**

Una posible explicación del escaso dinamismo del mercado del agua en gran parte de Chile puede ser que dado a que es un mercado estrecho (pocos compradores y vendedores, bajo dinamismo) éste suele caracterizarse por elevados riesgos en cuanto a precios y disponibilidad, frente al riesgo de que en el futuro los derechos de agua puedan no estar a la venta o en arriendo o que su precio pueda aumentar con rapidez. Esto provoca que los usuarios retengan los derechos para un posible uso futuro (por ejemplo, si deciden ampliar sus operaciones o si algún acontecimiento futuro imprevisto, como una sequía, los hace vulnerables a la escasez de agua; Dourojeanni y Jouravlev, 1999).

Por otra parte, la existencia de un mercado estrecho conlleva a elevados costos de transacción, a una baja eficiencia en establecer un precio unitario común y transmitirlo a sus participantes, y finalmente son susceptibles de ser manipulados (Dourojeanni y Jouravlev, 1999). Según estos autores todas estas deficiencias son posibles de encontrar en el mercado chileno.



**Objetivo:** Incentivar una mayor participación de los usuarios en el proceso de compra y venta de derechos de aprovechamiento.

**Líneas de acción:**

57. Mejorar el acceso y calidad a la información, disminuyendo los costos de transacción y desincentivando el acaparamiento de derechos. Lo último se puede lograr aumentando la eficiencia en el uso del agua y monitoreando la efectividad de la patente por no uso instaurada en la reforma de 2005. Logrando que el número de actores en el mercado aumente, en teoría, los precios tenderán a ser fijados entre todos los compradores y vendedores.

Responsable(s) directos de ejecución : Organizaciones de Usuarios. Dirección General de Aguas.

Plazo estimado de implementación : Corto-Mediano plazo

**23.5.4.5 Pobre funcionamiento de los incentivos de mercado para promover un uso más eficiente del agua**

Los incentivos de mercado para promover un uso más eficiente del agua sobre todo en el sector agrícola, no han funcionado como se esperaba. La eficiencia de riego sigue siendo muy baja a nivel nacional (la eficiencia de riego del 70% de la superficie regada del país se encuentra entre el 30 y 70%)<sup>87</sup> y en las pocas áreas donde ésta ha aumentado, el cambio refleja factores ajenos a los del mercado de aguas. Las inversiones en estas áreas han sido fomentadas por la seguridad legal de los derechos de propiedad, pero no por los incentivos de mercado a vender los derechos de agua sin uso o excedentes; tales derechos pocas veces se venden. Por otra parte se ha hecho necesario que el gobierno continúe subsidiando la construcción y el mantenimiento de los canales de riego de escala menor, media y mayor (Bauer, 2004). Adicionalmente, la eficiencia en el uso del agua doméstica se caracteriza por ser extremadamente baja, llegando las familias chilenas a consumir más del 70% más del agua requerida para cubrir todas sus necesidades (SISS, 2009)<sup>88</sup>.

**Objetivo.** Aumentar la eficiencia en el uso del agua tanto a nivel agrícola como doméstico.

**Líneas de acción:**

58. Incentivar la producción de cultivos de alto valor económico con el objetivo de producir utilidades suficientes para justificar el gasto en mejor tecnología (riegos localizados como goteros, aspersión, etc.). Esto debe ser acompañado por incentivos que permitan vender los flujos de agua no utilizados (ver la sección *Propuestas de desarrollo de instrumentos de uso eficiente del agua, incentivos a la innovación y transferencia tecnológica*).

Responsable(s) directos de ejecución : CNR, Ministerio de Agricultura, Agricultores, Dirección General de Aguas

<sup>87</sup> VII Censo Agropecuario y Forestal, 2007.

<sup>88</sup> SISS. 2009. Consumo de agua potable 2007-2008.



Plazo estimado de implementación : Corto-Mediano plazo

59. Desarrollar instrumentos de valoración. Valorizar el recurso agua es importante, especialmente en zonas donde el problema de disponibilidad es menor. En dichos lugares el incentivo para preservar y aumentar la eficiencia de su uso no es prioridad, adquiriendo el agua un bajo valor (Bauer, 2002).

Responsable(s) directos de ejecución : OUAs, Dirección General de Aguas

Plazo estimado de implementación : Corto-Mediano plazo

#### **23.5.4.6 Incapacidad del mercado de aguas de internalizar externalidades**

El código de aguas no incorpora en su estructura las externalidades causadas por las transacciones de derechos de agua, ya sea impactos ambientales o efectos sobre terceros que afectan a otros usuarios de agua. Por ejemplo, a pesar de que el Código de Agua establece que la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento en fuentes naturales y en obras estatales de desarrollo del recurso no puede perjudicar ni menoscabar derechos de terceros, éste no establece indemnización alguna a los usuarios que se ven perjudicados por la venta de derechos que incluyen flujos de retorno. Estos flujos representan una fuente importante de agua para usuarios que no tienen el derecho original sobre ellos (Donoso, 2006).

Por otra parte, la carencia de una gestión de cuencas hidrográficas que tome en cuenta la coordinación de los diferentes usos múltiples del agua y la gestión conjunta de las aguas superficiales y subterráneas menoscaba la intención de internalizar las externalidades. Ejemplo de esto son los conflictos que se suceden entre el sector hidroeléctrico y el sector agrícola y el medioambiente por los continuos cambios en los flujos de agua determinados por el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas.

**Objetivo:** Internalización de las externalidades tanto económicas como ambientales.

#### **Líneas de acción:**

60. Instauración de un sistema de pagos por servicios ambientales, de acuerdo a las características propias de cada cuenca. Esto implica "valorar el agua".

Responsable(s) directos de ejecución : Dirección General de Aguas, CONAMA

Plazo estimado de implementación : Mediano-largo plazo

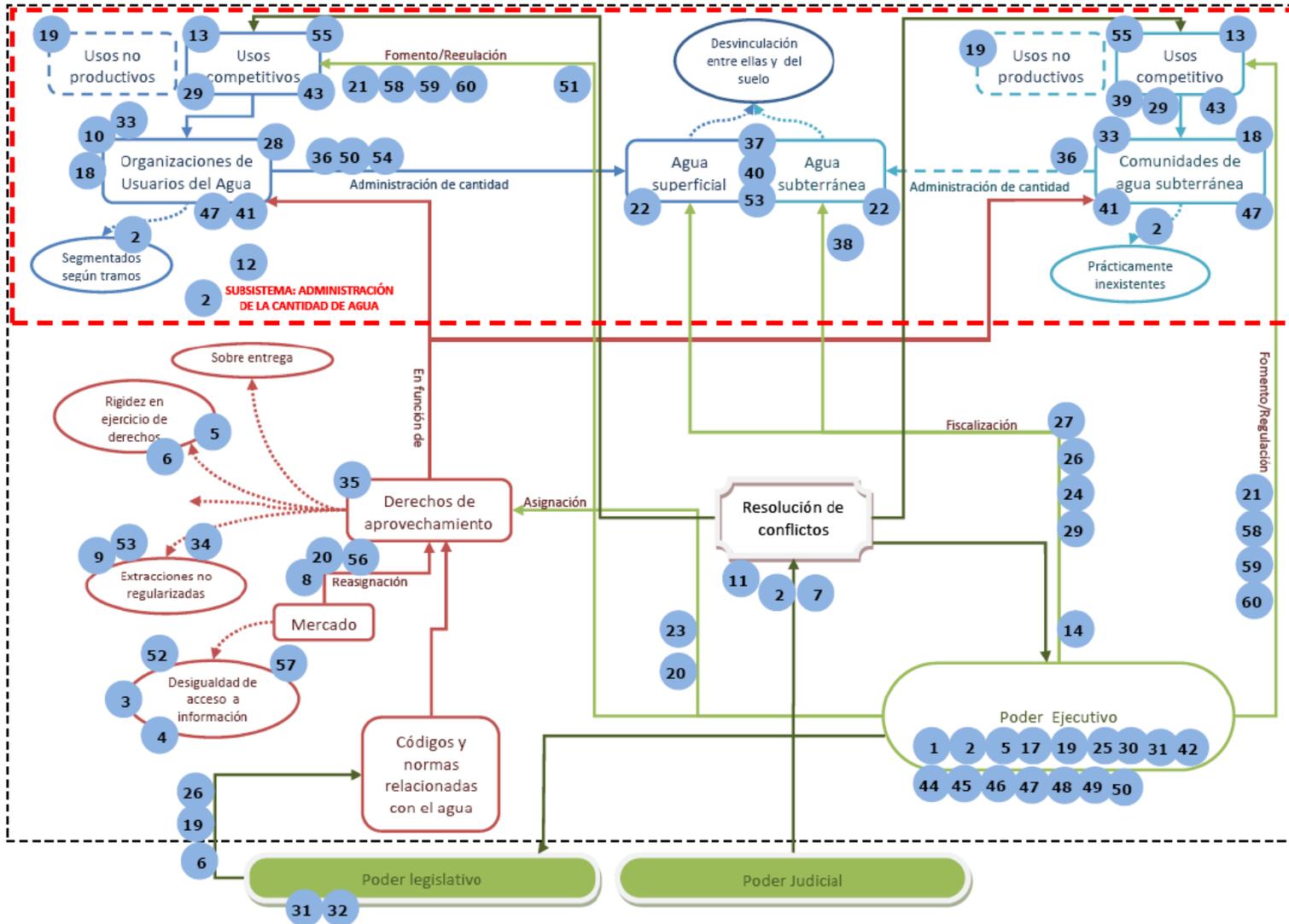


## 23.6 Conclusión

Con estas 60 líneas de acción propuestas creemos que se puede perfeccionar el modelo actual de gestión de recursos hídricos desde la perspectiva de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Cada línea de acción interviene directamente en alguna característica de la situación actual.

Tal como se muestra en la Figura 24, el número de cada acción se refleja en la característica específica en que impacta en el modelo propuesto en el apartado 22 *La gestión actual de los recursos hídricos en Chile*, con lo cual se busca representar gráficamente que las principales limitaciones del actual modelo de gestión pueden corregirse a través de una o más de las acciones propuestas.

**Figura 24: Puntos de intervención de las Líneas de acción en la gestión actual de los Recursos hídricos.**





## 24 PROPUESTA PARTICIPATIVA DE RESOLUCIÓN DE CONFLICTOS EN TORNO AL AGUA

### 24.1 Los conflictos de agua en Chile y las actuales vías de resolución

Dado que el agua es un recurso en constante movimiento, al cual se le asocia una enorme cantidad de usos y funciones, que cada vez se torna más escaso y cuyo uso implica un número incierto de externalidades socio ambientales a nivel de las cuencas, los conflictos asociados a este elemento son ilimitados (Peña y Solanes 2002).

En general, los problemas de acceso al agua se podrían clasificar en:

- a) Aquellos que se producen en una misma cuenca, tanto entre usuarios de diferentes usos como entre usuarios de un mismo uso, todos ellos asociados a propietarios de derechos de aprovechamiento de aguas.
- b) Aquellos problemas de acceso donde se involucra a usos que tradicionalmente y legalmente no han sido reconocidos como tales, por lo cual no poseen derechos de aprovechamiento de agua.
- c) Aquellos que involucran a usos y usuarios de cuencas distintas y/o alejadas espacialmente, tales como los grandes proyectos de generación de energía y el trasvase de agua de una cuenca a otra, por poner algunos ejemplos.

Como se ha señalado en los productos anteriores, tanto el acceso al agua por parte de los usos tradicionales (con fines productivos) como el acceso de aquellos usos definidos como *in situ* (en que el agua se requiere en su medio natural, o en que tiene un valor cultural o emocional) están constantemente en una situación de conflicto, ya sea por problemas de contaminación, cada vez más comunes en las diferentes cuencas estudiadas, o por la decreciente disponibilidad de agua (legal y física) en gran parte del país. Bajo esa mirada, la escasez es una característica transversal de las cuencas estudiadas lo que se evidencia en los conflictos identificados que tienden a ser cada vez más comunes y severos.

¿Cómo se genera esta condición de escasez?

Históricamente, la asignación de derechos de uso del agua se ha realizado en función de estimaciones de disponibilidad de agua en base a balances hídricos para períodos anuales o, mensuales en el mejor de los casos, estimaciones realizadas de forma específica para cada punto sin considerar el comportamiento global de la cuenca, ni la variabilidad climática asociada a cada una de ellas, ni la interacción de aguas superficiales y subterráneas. Además, las estimaciones de disponibilidad consideraban flujos de retorno provenientes de derechos asignados a usos de baja eficiencia (como la agricultura tradicional), sin considerar que la condición de ineficiencia podría mejorarse con el tiempo, y sea por cambios en las técnicas de aprovechamiento del agua, o gracias a la libertad de transacción de derechos, trasladando el agua hacia usos más rentables y de mayor eficiencia (como la minería), situación que ha perjudicado a los usuarios que poseían derechos constituidos en base a los flujos de retorno antes mencionados. Otra consecuencia de este tipo de situaciones es la reducción de la recarga de agua del sistema, que también dependía de los flujos de retorno de usos menos eficientes. En algunos casos, esta situación se ha vuelto dramática, como es en la cuenca del río Copiapó, donde los problemas de estimación de disponibilidad y el tránsito del agua a



usos altamente eficientes ha llevado a que la demanda de agua supere con creces a la oferta natural de la cuenca.

Se reconoce que con el pasar del tiempo los métodos de determinación y la calidad de la información disponible han mejorado considerablemente gracias a la permanente atención de la DGA por mejorar sus procedimientos y por cuidar la renovabilidad del recurso hídrico, no obstante, la mayor parte de los derechos de aprovechamiento existentes fueron determinados y otorgados cuando la determinación de disponibilidad de recursos hídricos era inexacta debido a problemas metodológicos y a información insuficiente, y las condiciones de perpetuidad que otorga el Código de Aguas actual hacen imposible modificar errores de asignación que hoy se detectan.

En otra arista del problema de escasez, la característica propia del derecho de aprovechamiento en el sentido de la rigidez con que se establece, hace que en algunos casos se entregue a los usuarios una cantidad de agua que no es acorde a la variabilidad intra e interanual de la oferta natural de agua. Por ejemplo, un derecho correspondiente a 1 L/s es exigible por su propietario independiente de la estación del año o de una condición de sequía. Otro ejemplo de problema derivado de la rigidez del derecho de aprovechamiento es que, una vez otorgado el derecho y a pesar de no hacer efectivo su uso, el agua en el sistema no puede ser utilizada por otros usuarios, lo que agudiza la escasez, como es el caso de la cuenca del río Baker.

Sumado a lo anterior, en muchas cuencas se desconoce quiénes son efectivamente los usuarios de agua, dado que en sectores rurales hay innumerables casos de usuarios tradicionales que no han regularizado las extracciones de agua que han realizado históricamente. En algunos casos, son derechos legalmente constituidos que han sido heredados, y que en la práctica siguen siendo usados como al momento de su constitución, y en otros casos, son usuarios de hecho. Esta situación que se trató de revertir con las modificaciones realizadas al Código de Aguas del año 2005, es de tal complejidad (ya sea por los costos involucrados, o por el desconocimiento de esta normativa por parte de los usuarios y la ausencia de OUAs constituidas en muchos ríos y canales), que se ha hecho inviable la regularización de los usuarios de cada fuente de agua, y más compleja aún sería su actualización constante luego de transacciones de derecho de aprovechamiento que pueden ocurrir diariamente. En este escenario, la duplicidad de derechos es una realidad que redundará en un mayor uso de las aguas.

Un aspecto de relevancia creciente en las últimas décadas es la contaminación, que ha sido causa de una reducción en la disponibilidad de agua dadas las limitaciones que una mala calidad del recurso hídrico implica para diferentes usos.

Desde una mirada que considere los usos *in situ*, la escasez se produce en el momento en que el ejercicio de los derechos de aprovechamiento por parte de los usos legalmente reconocidos, impide el desarrollo de las funciones que el agua tiene para los demás usos. Este impedimento al desarrollo de funciones no productivas del agua se genera por la naturaleza propia del derecho de aprovechamiento como bien privado sobre el cual el Estado no puede ejercer un control que vaya en beneficio de usos sin propiedad de derecho de aprovechamiento, sea uso de carácter privado (pesca deportiva) o sea un uso de interés común (mantención de ecosistemas o requerimiento de pueblos indígenas).

Entonces, la conflictividad que se presenta en la realidad chilena a lo largo de las diferentes cuencas estudiadas, se produce por la incapacidad de gestionar los derechos



de aprovechamiento existentes para los diferentes usos presentes en una misma cuenca. La administración de las aguas, delegada en los propios privados dueños de derechos, se realiza de manera sectorial, por tramos de ríos, no a nivel de cuencas, y sólo por y para aquellos usos tradicionales legales, por lo cual la competencia por el uso del agua es una característica transversal del modelo chileno de gestión de las aguas.

La resolución de conflictos en la actualidad, se lleva a cabo a través de los tribunales de justicia, quienes son los únicos que tienen la potestad para resolver sobre temas de agua (ver mecanismos en la sección 6.2.6 *Procedimientos administrativos y judiciales*). A pesar de lo anterior, y a menor escala, es tradicional y común que se recurra a la Organización de Usuarios de Aguas a la que se pertenece para dirimir informalmente en función de los derechos correspondientes, como ocurriría por ejemplo, en una disputa entre usuarios de una misma fuente de agua, o bien, se recurre a la DGA para que oriente en la solución al conflicto.

Al respecto, todo proceso judicial está asociado a un costo económico, a un conocimiento sobre el funcionamiento del sistema por parte de los usuarios y a plazos que muchos de los usuarios no son capaces de enfrentar, provocando que este mecanismo resulte ineficiente e inequitativo para resolver conflictos entre usos. En este análisis no caben aquellos usos *in situ* que no son poseedores de derecho, como ya se mencionó en párrafos precedentes, solo en el caso de los usos consuetudinarios asociados a etnias se han asignado derechos de agua, entendiéndose además que estas culturas utilizan el agua para producir y no por su sentido valórico. Para la asignación de derechos de aprovechamiento para la CONADI, Comunidades o Fundaciones que trabajan con etnias, el Estado ha debido financiar su adquisición a través de la compra de derechos de aprovechamiento.

La definición de equidad utilizada en el marco de este trabajo recoge como punto inicial el considerar "algo que es fundamental" (en este caso el agua, ya sea como insumo de la producción, como elemento básico para la sociedad y la vida humana, o como elemento vital para todos ecosistema) donde (a) nadie debiera estar en condiciones de desventaja en el acceso si (b) eso puede ser evitado (Málaga 2001). Cuando algo esencial falta, su inexistencia relativa o absoluta reduce las posibilidades del bienestar, y limita las opciones de su mejora.

Esta manera de entender la equidad como un principio ético, está asociado a aquello que es justo desde la perspectiva de la "libertad individual" (Sen 1997) por lo cual no se pretende establecer un concepto absoluto de equidad en el acceso al agua. Este concepto pretende realzar algunos elementos del modelo actual de gestión del agua que pueden ser perfeccionados de manera tal de propender a un nuevo modelo de gestión en el cual la distribución del poder, oportunidades y opciones sean más simétricas o "razonables" (UNDP 2005), ámbito en que el modelo actual chileno falla.

En cuando a los usos relacionados con servicios ecosistémicos, sólo en unas pocas cuencas del país donde aún quedan derechos de agua disponibles (alrededor de 15 ríos según datos de CONAMA<sup>89</sup>), la reserva de agua para caudales ecológicos podría ser aplicable. La Dirección General de Aguas puede (y lo ha hecho) imponer caudales ecológicos en cuando se constituyen nuevos derechos de aprovechamiento, o cuando se pide autorización para modificar los puntos de captación, y cuando se producen

<sup>89</sup> Comunicación personal con Pilar Valenzuela, CONAMA, 11 de Agosto del 2009.



renuncias de derechos de aprovechamiento. Es importante considerar que el caudal ecológico es descontado en la estimación de disponibilidad, por lo que no puede ser utilizado, pero esto no significa que se le proteja con la figura legal de derecho de aprovechamiento. Este tema es complejo dado que en centrales hidroeléctricas de paso, y bajo ciertas condiciones específicas, el caudal ecológico sí podría ser utilizado, pero sin tener derechos sobre él. A las restricciones ya mencionadas sobre el caudal ecológico, se suma el hecho de que muchas veces éste no es suficiente para los fines que fue creado, por tanto se requiere la implementación de otras medidas de protección complementarias, mejores y más efectivas, tanto en ríos como acuíferos y glaciares.

## 24.2 Propuestas para la resolución de conflictos

Dado que el agua está tan íntimamente ligada a la cultura local de la sociedad y al entorno propio de cada cuenca, no hay respuestas únicas que permitan garantizar una gestión sin conflictos. Por lo tanto, toda sugerencia sobre nueva institucionalidad, leyes y estrategias, debe considerar las particularidades de cada cuenca y de la definición de la vocación productiva que los propios habitantes y usuarios definen en este territorio. Casos como el de Hidroaysén son particularmente conflictivos bajo esta mirada, ya que la generación energética no fue considerada dentro de las estrategias de desarrollo de ningún nivel (regional, provincial ni comunal), y obedece a intereses centrales y/o de sectores industriales ajenos a la región, con lo cual se ve que las decisiones locales pueden ser muy frágiles ante temas de interés nacional. Entonces, bajo el marco normativo actual, las propuestas que se generan en esta investigación para mejorar el mecanismo de resolución de conflictos son de carácter participativo con el fin de propender hacia un modelo de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, sin ser éstas absolutas ni transversales para todo el país. Una dificultad de esta propuesta es el problema para obtener recursos monetarios que la financien, dado que los presupuestos fiscales asociados al recurso hídrico son insuficientes.

Estas propuestas han sido construidas a partir de ideas emanadas de los propios involucrados que fueron entrevistados en el marco de este proyecto y han sido evaluadas en un panel experto (ver Anexo 9: Fuentes primarias de información utilizadas: Entrevistas, asistencia a actividades y paneles de expertos.).

### 24.2.1 Negociación previa

Existen experiencias internacionales y nacionales de negociación público-privada de resolución de conflictos que son adaptables a la realidad local.

Dada la fortaleza jurídica del derecho de aprovechamiento, no hay alternativa legal que obligue al diálogo entre los diferentes usuarios y usos, sin embargo, el reconocimiento del sector privado hacia el carácter técnico de la institucionalidad del Estado (representado por la DGA), y el esfuerzo por parte de ésta y de otras instituciones como CONAMA, han permitido el desarrollo de instancias de participación que involucran a los diferentes usos del agua y a representantes de la sociedad civil en las que se promueve la discusión sobre los intereses comunes de la cuenca a la que pertenecen. La instancia a que se hace referencia corresponde a las Mesas de Agua, cuya acción se propone en detalle en la sección 25 *Propuestas de desarrollo de instrumentos de uso eficiente del agua, incentivos a la innovación y transferencia tecnológica*.



Estas instancias, con éste u otro nombre, han permitido cierto grado de negociación y acuerdos voluntarios para resolver conflictos de intereses. Sin embargo se reconoce que la gran debilidad es precisamente el carácter de voluntario y la escasa o nula capacidad de resolución de estas instancias, dado que la decisión de uso del agua recae exclusivamente en el dueño de los derechos de aprovechamiento. Existen conflictos entre grandes y pequeños usuarios donde se producen demasiadas diferencias y la resolución es muy difícil.

La DGA, debiera tener la posibilidad de constituir un equipo asesor que actúe de árbitro con atribuciones legalmente establecidas, de manera que pueda intervenir como juez ante una negociación previa para resolver un conflicto, en especial cuando éste tiene una solución de carácter técnico en el que la propia DGA pueda dirimir directamente. En Estados Unidos, la Agencia de Protección ambiental, EPA, tiene atribuciones para actuar como tribunal formal en temas ambientales y de recursos naturales, focalizada especialmente en la búsqueda de acuerdos de todo tipo para evitar llegar a la justicia ordinaria. Esta característica ha solucionado grandes problemas, y aunque existen algunos que se resuelven en la justicia, hay otros que logran solucionarse antes con juzgados especialistas que son más acertados en sus recomendaciones o fallos, que si bien tienen menor peso legal, permiten dar solución y un marco "legal" a esas soluciones.

#### **24.2.2 Subsidio en la compra de derechos de aprovechamiento**

En otra dimensión del acceso al agua, un problema que pocas veces se ha transformado en conflicto, es la limitación que se provoca en el mercado para aquellos usuarios interesados en el uso del agua, pero que no pueden participar de este mecanismo para obtener derechos de aprovechamiento; es el caso de usuarios extractivos de agua de escasos recursos económicos (agricultura campesina o etnias), carentes de información sobre los mercados, y que frente a la necesidad de obtener más agua, no pueden acceder a ella. En este sentido, si bien los agricultores tradicionales y campesinos son reacios a vender sus derechos de agua por una condición de apego a la tierra (Fuster 2006), tampoco pueden comprar derechos.

En este escenario, se propone que de acuerdo a la línea de acción N°8 de la política, en la ausencia de disponibilidad de agua para ser asignada por la DGA, el Estado, en cada cuenca, en función de la vocación que a ésta se le asigne por la sociedad a través de las Mesas de Agua, genere un mecanismo de subsidio para la compra de derechos de aprovechamiento de agua en el mercado, que esté dirigido a aquellos casos en que la subsistencia de un usuario relevante en la cuenca se vea en riesgo por la ausencia de agua. Esta propuesta tiene como objetivo único reducir la inequidad en el acceso al agua como conflicto social de interés común en cada cuenca.

Este subsidio propuesto, puede ser aplicado también para aquellos usos *in situ* que en la actualidad no son considerados en la legislación como tales, es decir, no son poseedores de derechos de aprovechamiento. En este caso, además, se propone el reconocimiento legal de todo otro uso *in situ* productivo no tradicional (como deportes y recreación) y de aquellos que no tienen un fin productivo pero que se reconoce como de interés común (ambiental o paisajístico) reconocidos en cada cuenca.



Mecanismos alternativos a este subsidio que también podrían implementarse con los mismos objetivos es la reasignación de derechos a los sus propietarios renuncien por no hacer uso de ellos y que no desean pagar las patentes por no uso, o aquellos derechos que luego de los años legales de pago de patente caduquen por no uso.

### **24.2.3 Medición y fiscalización**

Dentro de las funciones que la Mesa del Agua puede liderar, está el uso efectivo y en derecho de cada uso y usuario en cada cuenca. Un gran problema que se recoge de las entrevistas realizadas en todas las cuencas de este estudio, es la escasez de información en tiempo real de la cantidad de agua de los diferentes cuerpos de agua en una cuenca y de la calidad de ésta.

En concordancia con las líneas de acción N° 30, 31, 32 y 33 se plantea esta propuesta que permite reducir la conflictividad entre usos en el corto plazo se basa en la implementación de un sistema de monitoreo de la cantidad y calidad de las aguas a una escala representativa espacial y temporal en cada cuenca. Esta propuesta de carácter técnico es fundamental para la realidad chilena y requiere del perfeccionamiento de la red de monitoreo actual con que dispone la DGA, a la vez que se amplía y actualiza, de manera de asegurar a esta entidad la disponibilidad adecuada de datos para una mejor toma de decisiones.

A su vez, la implementación de sistemas de medición en las obras hidráulicas de captación de aguas, tanto superficiales como subterráneas, permitiría en el corto plazo mantener una regulación más certera sobre las extracciones de agua que cada usuario realiza y sobre los problemas de contaminación puntual que pudiesen presentarse.

Complementario a la medición (de acuerdo a la línea de acción N° 36), tradicionalmente los propios usuarios han sido quienes fiscalizan la correcta extracción que los otros usuarios hacen y denuncian los problemas de contaminación, particularmente las organizaciones de usuarios, por tanto, debiera reforzarse esta condición natural a mayor escala, haciendo que las OUAs mantengan un control del uso de las aguas que hacen sus usuarios, implementando un sistema de medición moderno y en tiempo real que, a su vez, permita a la DGA mantener una fiscalización eficiente en cada cuenca. Si bien esta propuesta es de corto plazo, requiere de una fuerte inversión por parte del Estado en la implementación de las estaciones de medición, control de las extracciones y de dotación de profesionales que puedan llevar esta tarea eficientemente. Se requiere a su vez una declaración legal de la implementación de estos sistemas de medición por parte de los privados. Se han logrado avances en estos temas, pero la mayor limitante es la escasez de recursos económicos y humanos, con lo que cuesta tomar en serio estas propuestas y fortalecer las cosas que ya se desarrollan.

### **24.2.4 Fortalecimiento organizacional**

La realidad nacional muestra que a nivel rural la organización de los usuarios de aguas presenta situaciones muy opuestas. En algunos casos, existen organizaciones formalmente constituidas que realizan una administración eficiente de la distribución de las aguas entre sus usuarios, con adecuados niveles de control y de mejora continua de la infraestructura, y en otros casos, se tienen organizaciones constituidas de hecho que



distribuyen las aguas de manera ineficiente y descoordinada. Esta diversidad de realidades lleva a proponer el fortalecer a las organizaciones de usuarios, especialmente a las comunidades de agua, en materia de participación, resolución de conflictos y aspectos técnicos, esto a través de programas que pueden ser liderados por la propia DGA en el marco de la vocación de la cuenca y de los objetivos de mejorar las condiciones de vida de los usuarios, reducción de la inequidad y mejora en la medición y control de los usos del agua.

La reducción de la conflictividad al interior de las OUAs se podría reducir al modificar los mecanismos de representación en la toma de decisiones. Actualmente, las decisiones se toman en función del patrimonio hídrico de sus asociados, es decir, el voto tiene un valor proporcional a la cantidad de agua que los votantes posean. Al respecto, se propone una modificación legal que conduzca a ampliar la representación en la toma de decisiones, modificando el actual sistema de elección del directorio hacia un modelo de elección en que el directorio esté constituido proporcionalmente de acuerdo a los diferentes tipos de usos y usuarios presentes en cada cuenca. Cada sector debiera estar presente en el directorio y ninguno por si solo debiera representar a más de un 50% de los votos frente a la toma de decisiones. De esta manera se garantiza un mecanismo plural de toma de decisiones en la administración del agua al interior de cada organización. Las OUAs debieran recibir capacitación y apoyo del Estado para tener un mejor manejo sobre temas que requieren de mayor profesionalización, como es la relación de aguas superficiales y subterráneas, y el actuar conjunto con otras OUAs.

#### **24.2.5 Mediación Judicial Asistida**

Para la resolución de conflictos entre personas naturales o jurídicas, se propone la constitución de un sistema nacional de mediación, complementario y alternativo a los tribunales de justicia. El sistema debe ser parte del sistema judicial, pero se propone que su funcionamiento sea independiente, similar a la forma en que funcionan los Tribunales de Familia.

Tratándose de conflictos que tienen un componente científico-técnico de alta relevancia, la mediación debe ser asistida por los organismos con competencia en los temas de aguas, de tal modo que el mediador tome razón de los informes técnicos que emitan las instituciones que sean consultadas. Estos organismos deberán estar obligados por ley a recepcionar los requerimientos de los mediadores y a emitir los informes solicitados en los plazos que se establezcan. La resolución del mediador debe ponderar obligatoriamente los informes y los reclamos de los involucrados en el conflicto y emitirse una resolución con características públicas.

Las resoluciones y acuerdos a que lleguen las partes mediante este sistema, serán jurídicamente obligatorios y su incumplimiento implicará sanciones y penas que pueden ser perseguidas por los tribunales.

Podrán participar de una mediación, además de las personas que sean poseedoras de derechos de aprovechamiento, cualquier persona natural que considere que está siendo afectada por los usos que otros usuarios den al recurso.

La mediación es un acto voluntario, pero la firma de los acuerdos constituye obligación legal a las partes. Por ser un acto voluntario, sus costos serán financiados por las partes.



El Estado deberá proveer los medios económicos para los casos de personas que no puedan acceder a estos pagos, asegurando con ello la equidad.

El sistema permitiría convertir en asunto judicial, acuerdos entre las partes, lo que no sólo aseguraría estabilidad a los acuerdos entre usuarios formales del agua, sino que permitiría darle calidad legal a acuerdos que involucren a usos *in situ*.



## **25 PROPUESTAS DE DESARROLLO DE INSTRUMENTOS DE USO EFICIENTE DEL AGUA, INCENTIVOS A LA INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA**

En este capítulo se proponen algunos instrumentos que permitan materializar las líneas de acción propuestas en la *23 Propuesta de política de carácter económico, social y ambiental*.

### **25.1 Programa de Mesas del Agua (PMA)**

Se propone que sean las Mesas del Agua quienes implementen el **Programa de Mesas del Agua (PMA)**, éstos buscan apoyarse en las ventajas de una administración del agua en poder de los usuarios y en las ventajas que ofrece el mercado en la asignación del recurso, mediante un esfuerzo de coordinación, con importante apoyo estatal e institucional y haciendo uso de diversos instrumentos de gestión que se presentan en este apartado, por lo cual se detalla en profundidad cuales son las principales características, funcionamiento y objetivos que definen la propuesta.

#### **25.1.1 Características**

Los PMA corresponderán a una línea de apoyo CORFO-DGA, orientada a mejorar la coordinación de los usos y usuarios del agua, con el objetivo de compatibilizar estos usos, contribuyendo a una mayor estabilidad del recurso, propendiendo a una mayor seguridad y calidad de los múltiples servicios ambientales asociados al agua, al mismo tiempo que contribuir a dinamizar la actividad productiva en forma sustentable, y la resolución de conflictos entre usuarios.

#### **25.1.2 Funcionamiento**

Los PMA recibirán aporte de CORFO que financiará directamente, o cofinanciará a través de todas las líneas de apoyo disponibles en CORFO, un conjunto de actividades tendientes a levantar información, formular el diseño y articular programas de investigación, innovación, inversión, gestión de calidad, financiamiento, entre otros, que contribuyan al logro de los propósitos. Por su parte, la DGA deberá realizar los aportes profesionales que se requieran, además de equipamiento, infraestructura necesaria e información. Así mismo, esta institución estará encargada de revisar y evaluar técnicamente los programas específicos e informar a CORFO de su autorización, para su financiamiento o cofinanciamiento, según sea el caso.

Podrán implementarse a solicitud de un número significativo de usuarios de aguas, o por requerimiento expreso de la DGA, paulatinamente en todas las cuencas del país.

Los Programas de Mesas de Agua, aparte de los instrumentos CORFO propios de su funcionamiento, se constituirán en entes y ejes coordinadores de todo otro instrumento o programa dependiente total o parcialmente de la institucionalidad pública y que tenga injerencia directa o indirecta calificada, en el área de acción del PMA.



Como entes y ejes coordinadores, los PMA pasarán a tener preeminencia por sobre todo otro organismo que genere acciones que se relacionen con el agua, tales como programas de fomento al riego, obras hidráulicas, entre otros. Estos programas y acciones específicas deberán ser conocidos y analizados bajo la perspectiva del PMA, de tal modo que se puedan hacer las readecuaciones correspondientes en sus lineamientos, insertando de esta forma, el accionar específico de la institución respectiva en el quehacer de la Mesa del Agua de la cuenca respectiva.

## 25.2 Gestión Ambiental de cuencas

Se propone la creación de un nuevo instrumento de gestión ambiental, bajo la misma lógica de los actuales planes de Descontaminación y de Prevención, relativos al recurso aire, otorgando al recurso hídrico la misma importancia y significación que se le ha dado al aire. Según lo señalado, se propone la creación de **Planes de Recuperación de Cuencas Hidrográficas** y **Planes de Prevención de Cuencas Hidrográficas**.

### 25.2.1 Planes de Recuperación de Cuencas Hidrográficas

El Plan de Recuperación de Cuencas Hidrográficas (PRCH) se propone como un instrumento de gestión ambiental que tiene por finalidad recuperar el estado de una cuenca en términos de cantidad y calidad de las aguas. En términos de cantidad, el plan tendrá por finalidad recuperar la cuenca, cuando los usos actuales estén por sobre la disponibilidad física, considerando e incluyendo en la oferta hídrica, al menos, el uso como caudal ecológico. Esta condición se debe ver reflejada en la declaración de **Zona Sobreagotada**. En lo que respecta a calidad, el plan tendrá como objetivo recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad del agua de un sector que haya sido declarado como **Zona Contaminada**.

La determinación de Zona Sobreagotada y Zona Contaminada deberá definirse según bases técnicas ampliamente aceptadas y acordadas.

### 25.2.2 Planes de Prevención de Cuencas Hidrográficas

El Plan de Prevención de Cuencas Hidrográficas (PPCH), por su parte, deberá corresponder a un instrumento de gestión ambiental que tenga por finalidad evitar la superación de umbrales que se considere pongan en riesgo un sector, de tal modo que manteniendo las condiciones actuales, llegue a corto plazo a alcanzar las características que ameriten ser declarada Zona Sobreagotada y/o Contaminada. La superación de los umbrales señalados determinará que el sector sea declarado **Zona Latente**.

### 25.2.3 Funcionamiento y coordinación de los planes

La elaboración de los PRCH y PPCH corresponderá a la Comisión Nacional del Medio Ambiente, en coordinación con la DGA, para cuyos fines conformarán un Comité Operativo. Esta elaboración comprenderá las siguientes etapas: desarrollo de estudios científicos, análisis técnico y económico, consultas a organismos competentes, públicos y



privados, análisis de las observaciones formuladas. Todas estas etapas tendrán una adecuada publicidad.

La preparación de un PRCH o de un PPCH, se iniciará, una vez que se haya dictado el respectivo decreto que declara la totalidad o una zona específica de una cuenca hidrográfica, como sobreagotada o contaminada. En el caso de un PPCH, se iniciará una vez sea declarada una Zona Latente.

El Comité Operativo determinará y encargará los estudios técnicos y científicos y antecedentes necesarios para la formulación del plan, estableciendo una fecha límite para su presentación

El anteproyecto del Plan, deberá someterse a consulta a las distintas instancias involucradas. Podrá también participar de la consulta cualquiera persona, natural o jurídica, formulando y entregando sus observaciones, dentro de los plazos que se estipulen.

Una vez aprobado el proyecto definitivo del PRCH o PPCH, será sometido a la consideración del Presidente o Presidenta de la República para su decisión.

El PRCH deberá contener los antecedentes, identificación, delimitación y descripción del área afectada y una referencia a los datos que justificaron la respectiva declaración de zona (Sobreagotada o Contaminada). Además, dicho plan deberá contemplar el plazo en que se espera alcanzar la recuperación de la cuenca y las distintas etapas o estados de avance, con la respectiva proporción de la condición final. El Plan podrá intervenir el mercado de aguas y limitar, en ciertas condiciones justificadas, a la propiedad privada. Asimismo, podrá establecer límites máximos de concentración de contaminantes en las fuentes emisoras, por cada tipo de contaminante regulado y cada sector de la cuenca, según criterios técnico-científicos.

Por último, el Plan diseñará y aplicará los instrumentos de gestión ambiental que considere convenientes para cada caso, indicando los responsables de su cumplimiento y la identificación de las autoridades a cargo de su fiscalización.

Los PPCH se construirán de la misma forma que los PRCH, para los objetivos propios del Plan respectivo.

En general la reglamentación y disposiciones referentes a los PRCH o PPCH, así como a las declaraciones de zonas, pueden basarse en las ya existentes respecto a los planes de descontaminación y prevención, creados para el caso del componente aire, aprovechando la gran experiencia alcanzada en la aplicación de éstos.

## **25.3 Instrumentos para el uso eficiente en el sector doméstico**

### **25.3.1 Tarifas crecientes en función del consumo de agua doméstico**

El marco legal que regula la fijación de tarifas del sector, la ley y su Reglamento el D.S. N° 453 de 1990, tiene dentro de sus fundamentos el principio de **inteligibilidad**, cuya aplicación se refleja mediante la formulación de una estructura tarifaria cuyo objetivo es

entregar las señales apropiadas para guiar las decisiones de consumo y producción de los agentes económicos (art.8 de la Ley y arts. 30, 31 y 32 del Reglamento).

La estructura de tarifas eficientes, establecida en el Reglamento de Tarifas, se orienta fundamentalmente a distinguir tarifas por:

- a) Etapa de prestación de los servicios sanitarios: Producción, Distribución, Recolección y Disposición
- b) Sistema, entendiéndose como tal aquellas instalaciones, fuentes o cuerpos receptores y demás elementos, factibles de interactuar, asociados a las diversas etapas del servicio sanitario, que debe considerarse como un todo para minimizar los costos de largo plazo de proveer el servicio sanitario (Art. 6 de la Ley).
- c) En presencia de estacionalidad:
  - Cargo variable punta ( $\$/m^3$ )
  - Cargo variable no punta ( $\$/m^3$ )
  - Cargo variable de sobreconsumo ( $\$/m^3$ )
- d) En ausencia de estacionalidad:
  - Cargo variable parejo ( $\$/m^3$ )

Así, pese a que se existe un cargo variable y creciente en relación al consumo, éste no ha sido un incentivo eficaz para disminuir el consumo doméstico de agua. Pese a que en promedio el consumo a nivel país se encuentra en un nivel en donde pequeños cambios de hábito permitirían fácilmente ingresar a una zona de consumo responsable, el sector de mayores ingresos marca la diferencia, caracterizándose por consumir cantidades excesivas e irresponsables de agua (SISS 2009).

Para revertir esta situación, se propone (tomando como principio que un aumento en las tarifas cumple con penalizar el consumo suntuario del agua) un aumento gradual, pero más drástico, de éstas a medida que se consumen mayores cantidades, en relación a un rango de consumo básico (0-100 L/persona día), debería ser aplicado a lo largo del año. En la Tabla 93 se muestra un ejemplo de cómo podría tarifarse el consumo:

**Tabla 93: Aumento de tarifa conforme al consumo doméstico de agua.**

Consumo L/persona/día	Tarifa propuesta
0-100	Valor variable no punta
100-200	Valor variable punta
200-300	Doble valor variable punta
300-400	Doble del anterior
400-500	Doble del anterior
> 500	Doble del anterior

Fuente: Elaboración propia.

Si se observa el consumo nacional (SISS 2009), el sobreconsumo en el segmento de mayores ingresos se manifiesta prácticamente durante todo el año, y se explica básicamente por que las residencias poseen grandes jardines y piscinas. Debido a lo anterior, este instrumento económico no perjudicaría, mayormente, a los sectores de menores ingresos.



### **25.3.2 Definición de un sello de eficiencia hídrica**

Similar al programa australiano de fomento a la utilización de artefactos altamente economizadores de agua (*Water Efficiency Labeling and Standards Scheme*)<sup>90</sup>, la instauración de un sello que permita a los consumidores discriminar entre los artefactos más eficientes en el uso del agua y los que no lo son, se puede transformar en una herramienta eficaz para promover un uso racional del agua.

Sin embargo, cabe mencionar que los artículos eficientes son más caros, siendo de suma importancia, para su éxito, revertir esta situación para que estos productos compitan en precios contra aquellos que no poseen el sello. Independientemente de lo anterior, el gran incentivo, a mediano plazo, es que el menor uso de agua provocará una disminución de las tarifas de consumo de los habitantes.

Una manera de incentivar precios competitivos sería bajar impuestos arancelarios aquellos productos importados o bajar la carga tributaria a las empresas productoras y/o comercializadoras de artefactos eficientes en el uso del agua. Adicionalmente el gobierno podría entregar incentivos a dichas empresas financiando publicidad y dando reconocimiento gubernamental a los productos.

Para comenzar el plan de reconversión el Estado podría pagar un bono canjeable en artefactos eficientes para los segmentos de menores ingresos.

Paralelamente, se puede instaurar un Sello de Eficiencia Hídrica a nuevas viviendas, edificios de departamentos y construcciones en general. Se podría instaurar líneas de crédito hipotecario de bajo interés (ej. Banco del Estado podría ser el principal benefactor) a aquellas personas que quieran comprar viviendas o departamentos nuevos. Con esta medida se podría fomentar la edificación de nuevas casas y edificios con sistemas de servicios básicos economizadores de agua, debido a que habría una mayor demanda por éstos.

Finalmente, al igual que como sucede con el etiquetado de los artefactos eléctricos, el Sello de Eficiencia Hídrica debería estar basado en estrellas, números o letras los cuales indicarían el nivel de eficiencia de los artefactos y construcciones. El sistema debería estar implementado por ley, con el fin de que el sello sea estándar y su adulteración sea penada con multa.

## **25.4 Instrumentos para el uso eficiente en el sector agrícola**

### **25.4.1 Recuperación de caudales a través del mejoramiento de la eficiencia de riego (Fuster *et al.* sin año)**

El uso de agua para riego con sistemas no tecnificados es altamente ineficiente, dado que parte importante de los volúmenes de agua empleados no son utilizados por las plantas si no que percolan en profundidad o se evaporan desde el suelo. No obstante, esta situación tiene un beneficio para el sistema hídrico de la cuenca, ya que la ineficiencia del uso implica que un importante porcentaje del agua utilizada retorna al sistema. Lo que busca este instrumento es apoyar a estos usuarios a través de la

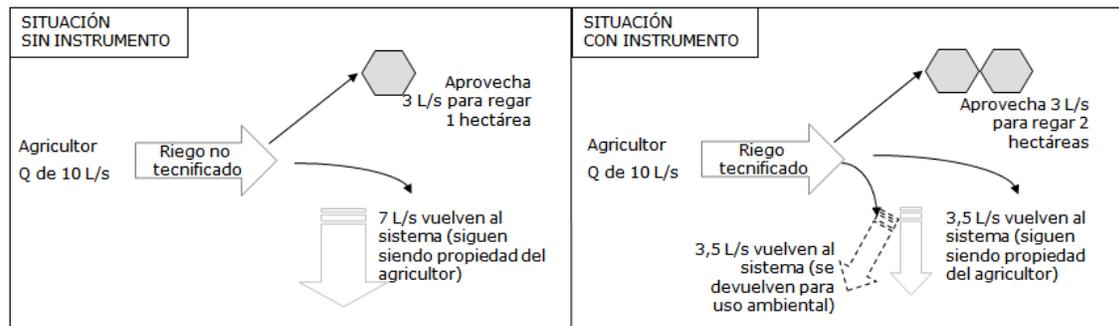
<sup>90</sup> Disponible en <http://www.waterrating.gov.au/>

implementación de tecnologías de riego que les permitan ampliar la superficie actualmente utilizada (y con ello, aumentar su producción), a cambio de esto, se busca que estos usuarios devuelvan parte de sus derechos de aprovechamiento que no estarían utilizando, con el objetivo de que se conviertan en derechos de aprovechamiento con fines ambientales.

Este instrumento le permitiría al Estado recuperar agua en aquellas cuencas donde no se alcanzó a determinar un caudal ecológico o donde podría presentarse problemas de agotamiento, y entrega una ayuda concreta a un sector rural poco competitivo. De forma secundaria, este instrumento tiene la ventaja de compatibilizar las políticas sectoriales de fomento al riego (ley 18.450), con las políticas orientadas a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

En la Figura 25 se puede visualizar un ejemplo de la situación ficticia de un agricultor cuyos derechos de aprovechamiento le otorgan 10 L/s, con y sin el instrumento.

**Figura 25: Subsidio al riego, con recuperación de derechos de aprovechamiento**



Fuente: Elaboración propia.

#### 25.4.2 Subsidio a la implementación de medidores de extracción de aguas subterráneas

El Manual de Procedimientos de la Dirección General de Aguas vigente (DGA 2008d), al momento de otorgar derechos de aprovechamiento permanentes de aguas subterráneas, no obliga a la instalación de sistemas de medición del caudal efectivamente extraído desde los pozos. Este vacío en el sistema permite que los usuarios del agua puedan cambiar los caudales de extracción una vez que los derechos fueron otorgados, donde sólo se corre el riesgo de ser sorprendidos en este delito (usurpación de aguas) a través de la fiscalización, la que, como se ha visto en otros acápite de este informe, ha sido deficiente por falta de recursos humanos y financieros.

La instalación de medidores de extracción de aguas es una medida que se está llevando a cabo por la DGA y que pronto sería obligatoria para todos los usuarios de aguas subterráneas. Por ello, este instrumento apunta a subsidiar a los propietarios de derechos de aprovechamiento para que instalen medidores de extracción de aguas que sean de precisión y entreguen información en tiempo real sobre los caudales extraídos, subsidiando la inversión necesaria en función del tipo de usuario con el que se trata, dado que estos sistemas podrían ser pronto obligatorios, y ayudando a que el proceso de fiscalización sea más eficiente y transparente.



## **25.5 Pago por servicios ambientales**

### **25.5.1 Pago por el servicio de recarga de acuíferos.**

Esta medida podría ser factible en zonas donde la extracción de agua subterránea puede afectar gravemente la disponibilidad de agua de los acuíferos. Los usuarios del acuífero afectado tendrán que pagar a las empresas sanitarias el servicio de recarga de éste. Bajo este acuerdo, las empresas sanitarias, también, deberán costear el transporte y las obras de ingeniería correspondientes. Paralelamente el Estado podría subsidiar la implementación de sistemas de tratamiento más eficiente, lo cual incluiría la capacitación de los usuarios y el financiamiento de los insumos correspondientes.

La misma esencia del sistema podría implementarse en ciudades donde las aguas tratadas se evacúan al mar. El sector industrial o agrícola podría pagar a las sanitarias el servicio de reciclaje de acuerdo a las necesidades de cada uno y luego pagar por el transporte del agua hasta las industrias y campos correspondientes. Al igual que en el caso de la recarga de acuíferos las empresas sanitarias se encargarían de costear las obras de ingeniería (estos costos se recuperarían a través del cobro del servicio).

Adicionalmente, el Estado podría incentivar a las industrias y productores agrícolas con mejor publicidad y reconocimiento gubernamental.

### **25.5.2 Internalización de costos ambientales por descarga de residuos tóxicos en la minería**

Existen instancias en que un sistema de impuestos ambientales podría ser implementado en el país. Por ejemplo, en el caso minero se podría poner un impuesto a los residuos tóxicos contenidos en las aguas de relave que arrojan las plantas concentradoras. La legislación actual exige que las empresas mineras reporten el nivel de los contaminantes que emiten como un requisito para elaborar sus planes de adecuación ambiental. Este impuesto podría ser una cantidad simbólica inicialmente, pero que se iría elevando en el tiempo de acuerdo a un cronograma pre-establecido. De esta manera se estaría dando tiempo a las empresas para que vayan tomando las previsiones del caso.

El objetivo del impuesto no es recargar tributariamente a las empresas sino modificar sus comportamientos, de manera que integren los costos ambientales en sus decisiones. Es más, usualmente, los esquemas políticamente aceptables de este tipo de instrumentos implican que los recursos obtenidos sean devueltos a aquellas empresas que desarrollan inversiones ambientales para cumplir con las obligaciones de la legislación ambiental y evitar que las partes perjudicadas lo demanden por daños y perjuicios.

### **25.5.3 Incentivo a inversiones destinadas a mejoras ambientales**

Se pueden premiar las inversiones que realicen las empresas para mejorar su eficiencia ambiental y disminuir los vertidos a los cauces de los ríos con exoneraciones de pagos de aranceles (si el equipo de tratamiento de riles y efluentes es importado) o como ya



se hace en algunos casos, exonerando dichas inversiones del pago al impuesto a la renta si ésta se hace mediante reinversión de utilidades.

El objetivo es modificar los desarrollos o comportamientos de actividades y agentes, dando a los diseñadores de política mayor flexibilidad para desarrollar diferentes vías para evitar o reducir los potenciales costos que los impuestos generan. Por ejemplo, un impuesto ambiental a las emisiones puede ser complementado con un reembolso en la compra de nuevos equipos que reducen la emisión, de manera que el primero provea los recursos financieros para el segundo sin afectar las finanzas fiscales de manera importante.

## **25.6 Desalación de agua de mar.**

### **25.6.1 Concesión de plantas desaladoras**

Tal como se explico en el apartado 12 correspondiente a *Utilización de recursos hídricos no convencionales*, la desalación de agua de mar sería una alternativa viable para abastecer las demandas crecientes por agua en la zona norte del país (ej. Regiones de Antofagasta y Atacama).

Al respecto, uno de los factores relevantes que están alertando a las autoridades es el creciente número de nuevos proyectos mineros (La Nación 2009). La propuesta sería concesionar la construcción de plantas desaladoras. El Estado podría costear los estudios de prefactibilidad y garantizar la demanda potencial por el agua. La planta produciría agua potable que abastecería a las sanitarias liberándose de esta manera recursos hídricos para las mineras. El pago del costo de la desalación debería ser compartido entre los consumidores de agua potable y las mineras. Para que el sistema sea justo las mineras pagarán la diferencia entre la nueva tarifa y la antigua tarifa pagada por los consumidores de agua potable.

## **25.7 Reutilización del agua**

### **25.7.1 Incentivo en la reutilización de aguas servidas para regadío urbano**

La reutilización de aguas servidas (previamente tratadas) para el riego de jardines urbanos es una alternativa viable en las grandes urbes de Chile, ya que permitiría liberar agua potable (muchas veces escasa) usada actualmente para estos fines.

Para hacerla económicamente atractiva para las municipalidades encargadas, se pueden generar, en una primera instancia, subsidio para la instalación de redes de drenaje que abastezcan al sistema de aguas servidas para el tratamiento, y capacitación gratuita a las municipalidades para facilitar su implementación local, en los sistemas de tratamiento necesarios, subsidio que puede ir gradualmente disminuyendo a medida que la demanda por este servicio aumente y las tecnologías para su implementación disminuyan.

De todas formas, según estudios del Laboratorio de Ingeniería Bioquímica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, los ahorros tarifarios que implicaría el reemplazo de agua potable por aguas servidas tratadas son tales, que



hacen viable esta alternativa desde el punto de vista ambiental, económico y técnico (Herrera *et al.* 1999).

### **25.7.2 Reutilización de aguas en hogares**

Alineado con los instrumentos expuestos en el sector doméstico, la reutilización de aguas dentro de los hogares del país puede ser incentivada a través del incentivo a la importación de tecnologías que permitan, por ejemplo, reutilizar las aguas residuales de procesos como el aseo personal para otros como la descarga del inodoro. Estas tecnologías se encuentran disponibles en otros países, sin embargo, sus altos valores aun lo hacen poco viable para el país.

Este tipo de artefacto puede estar avalado por un sello verde (como el propuesto en el punto 25.3.2 Definición de un sello de eficiencia hídrica), para que sean validados institucionalmente y pueden tener rebajas tributarias. Al mismo tiempo, aquellos hogares donde se introduzcan estas tecnologías pueden ser beneficiarios de una rebaja en las contribuciones, e ir manteniendo la rebaja cada año, avalando el uso del sistema a través de la disminución del consumo de agua potable.



## 26 PROPUESTAS PARA UNA POLÍTICA DE LARGO PLAZO SOBRE LA GESTIÓN DEL AGUA

Esta etapa final tiene por objetivo dar relevancia a aquellos aspectos centrales que debieran ser modificados en el modelo actual de gestión de recursos hídricos para tender hacia una imagen modelo como la propuesta por la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. El razonamiento lógico de esta propuesta es que el interés de modificar el modelo actual de gestión del agua radica en que éste no fue ideado para incorporar en su estructura los aspectos ambientales a los cuales el agua está ligado, dado que hace tres décadas no era un elemento relevante para el desarrollo del país, así como tampoco eran relevantes aquellos aspectos de carácter social que, con la agudización de la escasez y de los problemas de contaminación del agua, se han ido tornando relevantes para la sociedad.

Bajo esa mirada, integrar a la visión actual de los recursos hídricos las dimensiones social, ambiental y económica, para proyectar un enfoque de desarrollo sustentable, requiere de una estrategia nacional de largo plazo.

### 26.1 Principios y conceptos centrales

El principio central, que debería orientar una estrategia de Gestión Integrada de Recursos Hídricos, es el de integración en distintos niveles y fases tal como se detalla a continuación:

- Integración de objetivos ambientales, que combinen aspectos tanto de cantidad como de calidad del recurso hídrico.
- Integración de todos los recursos hídricos presentes en una cuenca hidrográfica, tanto los recursos superficiales como los subterráneos, humedales, lagos, glaciares y también recursos costeros.
- Integración de todos los usos de agua, funciones y servicios en un marco común de política pública.
- Integración entre los intereses de usuarios aguas-arriba y aguas-abajo bajo una unidad de gestión a nivel de cuenca y subcuenca.
- Integración de todos los interesados en la planificación y el proceso de decisión en cada cuenca.
- Marco jurídico e institucional alineado con los principios y objetivos del enfoque de la GIRH.
- Integración de todos los aspectos de gestión de las aguas en la cuenca, incluyendo gestión de la cantidad y la calidad de aguas, los desechos y también la prevención y gestión de inundaciones, crecidas, sequías u otros fenómenos extremos en un escenario dinámico y sensible al cambio climático.
- Integrar los objetivos sociales, económicos y ambientales para lograr metas al mínimo costo social, asignar eficientemente las tareas de conservación y descontaminación entre agentes económicos, internalizar que los costos del daño deben asumirse por quienes lo generan e incorporar el valor ambiental del servicio que entrega el agua.



## 26.2 Objetivos de una propuesta a largo plazo

A diferencia de la política propuesta en el apartado 23 *Propuesta de política de carácter económico, social y ambiental*, en esta sección se integran diferentes propuestas que requieren de reformas legales de fondo a la actual legislación del código de aguas de 1981 (y su modificación del 2005), con el fin de generar un marco institucional que pueda efectivamente actuar acorde a los principios de la GIRH.

Los objetivos de esta política, por lo tanto, apuntan a generar cambios y transformaciones de fondo respecto de la actual gestión de los recursos hídricos:

1. Priorizar las funciones naturales que el agua cumple dentro de una cuenca, por sobre sus funciones económicas, dado la dependencia de éstas a las primeras.
2. Reconocer las diferencias propias de nuestro país en términos del comportamiento y disponibilidad de las aguas.
3. Incentivar la utilización eficiente y sustentable del agua por parte de todos quienes hacen uso de ella.
4. Implementar una institucionalidad local a nivel de cuenca, que integre a todos los involucrados, usuarios y no usuarios del agua en las decisiones que se tomen en torno a ella.
5. Priorizar el uso del agua en cada cuenca, en función de la vocación que los propios interesados definan.
6. Reconocer formalmente aquellos usos económicamente no productivos y garantizarles el acceso al agua.
7. Asegurar el acceso al agua para las necesidades básicas de toda la población.
8. Garantizar la seguridad nacional de la propiedad del agua y su adecuada gestión transfronteriza.

## 26.3 Estrategia de acción

La consecución de los objetivos planteados requiere de una estrategia que abarque las diferentes dimensiones involucradas en la GIRH, a la vez que sea validada y sustentada por la población, de manera de favorecer su aplicabilidad.

**Figura 26: Elementos centrales para la Gestión Integrada de Recursos Hídricos en una propuesta de largo plazo.**



Fuente: Elaboración propia, adaptado de CONAMA 2006.



### **26.3.1 Involucramiento de la sociedad civil**

Será necesario comenzar un proceso que empodere a la población respecto del uso sustentable de los recursos hídricos, transformando la actual concepción del agua como un bien de connotación económica, de manera tal que sean los mismos miembros de la comunidad los principales interesados en exigir el uso sustentable del agua.

Este proceso promueve un sustento social para cualquier reforma que se aplique e incentiva el interés de la población para interiorizarse sobre la gestión del agua, evitando la actual falta de información que rodea a los procesos administrativos relacionados con el agua.

Para esto se propone una fuerte campaña comunicacional, a nivel nacional, pero con especial énfasis en sectores rurales, que sea enfocada espacialmente en las cuencas como pieza fundamental, para así fomentar también el diálogo dentro de los usuarios de una misma cuenca.

De manera complementaria se propone una modificación en los planes de estudios de la enseñanza escolar, tomando en cuenta que los impactos más relevantes del cambio climático están relacionados con el agua y será la niñez y juventud actual quienes percibirán en mayor forma estos efectos. Actualmente los temas medio ambientales son considerados transversales a los contenidos mínimos. Entonces el tema de agua podría tener un tratamiento especial desde una perspectiva de la GIRH.

### **26.3.2 Coordinación Intersectorial para la gestión del agua**

#### **26.3.2.1 *Institucionalidad a nivel central***

Las instituciones (públicas y privadas) que se vinculan a la administración y gestión de los recursos hídricos en el país, son fundamentales para el logro de los objetivos de esta política, y en general de cualquier política relacionada con el agua. No obstante, la mirada que éstas tienen es muy focalizada y, por definición, poco integradora.

Actualmente, a nivel central, las instituciones públicas relacionadas el agua en Chile están segregadas y dispersas, y aunque es la Dirección General de Agua la institución central, en la práctica, son variadas las instituciones con algún tipo de interés en el agua (ver Figura 23) y la coordinación entre ellas es un elemento reconocido como débil. Entonces, es necesario fortalecer la institución a nivel central para poder implementar de manera efectiva cualquier medida propuesta. Para esto se propone dotar de atribuciones a la DGA para ser la encargada de coordinar las acciones de toda institucionalidad pública. De la misma forma, será necesario aumentar las capacidades humanas de la DGA, integrando a más profesionales de diversas disciplinas, que sean capaces de abarcar los diferentes ámbitos que convergen en la gestión del agua, y que hoy están ausentes en la institución. Un soporte para garantizar la función coordinadora de la DGA sería trasladar administrativamente a la DGA al Ministerio del Medio Ambiente dada la multiplicidad de funciones otorgadas al agua.



### **26.3.2.2      *Institucionalidad a nivel local***

Ya que los procesos del agua se generan naturalmente en las cuencas hidrográficas, resulta lógico contar con instituciones que funcionen a este nivel territorial.

En este sentido, las Mesas del Agua han sido uno de los avances más importantes a nivel nacional para la gestión de las cuencas hidrográficas, sin embargo, su funcionamiento ha sido limitado por su carácter no vinculante. Sin embargo, al incluir como usuarios legales del agua a usos no productivos, las Mesas del Agua pueden tener mayor dinamismo y capacidad de decidir de manera práctica sobre el manejo de los recursos hídricos de su territorio, ya que los usuarios formales del agua incluiría los usos no tradicionales. Es necesario, entonces, constituir formalmente las Mesas del Agua como instancia de gestión territorial y fomentar su establecimiento paulatino en todas las cuencas hidrográficas del país, entregándoles más atribuciones y financiamiento, para la gestión del territorio al que pertenecen. Tomando en cuenta que, tanto su constitución, como su funcionamiento, son aspectos que involucran un alto grado de complejidad, debido a que fundamentalmente son instancias de coordinación, promoción, fomento e integración de actividades y actores privados y públicos, es primordial entender que deben ser por esencia autónomas, pero con fuerte apoyo del Estado, no sólo en términos de financiamiento, sino que especialmente en su calidad de entes rectores, que alineen las demás acciones públicas que estén relacionadas con el agua. De acuerdo a esto, se propone utilizar la constitución de Programas de Mesas del Agua, como se plantea en la sección 25.1 *Programa de Mesas del Agua (PMA)*, de la propuesta de instrumentos para el uso eficiente del agua.

## **26.3.3 Planificación estratégica en función de la vocación de la cuenca**

### **26.3.3.1      *Vocación de las cuencas***

Dadas las condiciones climáticas, espaciales, sociales e históricas que definen a una cuenca hidrográfica, las actividades humanas que se realizan en ella varían ampliamente a lo largo del país. Si bien las políticas nacionales pueden ser planteadas recogiendo las diferencias propias de nuestro país a escala de macrozonas (norte, centro sur y sur), se propone que sean quienes tienen presencia en la cuenca (Instituciones públicas, Usuarios formales de Aguas, Usuarios informales, Municipalidades, entre otros) los llamados a decidir sobre el rumbo que tome el desarrollo social y económico de su territorio, para esto, las Mesas del Agua resultan una instancia propicia para la toma de decisiones, y para definir la vocación de la cuenca, a partir de lo cual será posible priorizar sobre el uso del agua y garantizar el abastecimiento de las necesidades básicas de todos los interesados. Debiera ser en función de esta vocación que se realice toda acción pública de manera que sea el foco lógico de integración intersectorial.

### **26.3.3.2      *Derechos de aprovechamiento y usos del agua***

A pesar de los beneficios que ha tenido el concepto actual de derecho de aprovechamiento perpetuo, patrimonial y libremente transable en el mercado, éste no asegura las funciones naturales del agua en una cuenca y no permite el acceso al agua de los usos no productivos, ya que la lógica es reasignar los derechos de aprovechamiento a los usos económicamente más rentables dentro de la cuenca.



Evidencias de impactos sociales y ambientales aparecen, como por ejemplo, en el agotamiento legal de los derechos de aprovechamiento de la cuenca del río Backer, que deja sin acceso al agua, a la agricultura de subsistencia y a otras necesidades básicas de los pequeños propietarios de la zona<sup>91</sup>. O bien, la situación que aqueja a Quillagua, donde derechos asignados al consumo humano fueron vendidos por los propietarios de éstos a una empresa minera<sup>91</sup>. O en el río Copiapó, donde en algunos sectores no existe escurrimiento superficial por el uso efectivo y eficiente de los derechos de aprovechamiento que representan una demanda mayor a la oferta natural del río, afectando el sustento de los ecosistemas de la cuenca<sup>91</sup>.

Bajo la realidad actual y los objetivos futuros del país, en donde a diferencia de las décadas de los 80 y 90s en que el eje de desarrollo era el crecimiento económico, se busca un desarrollo que concilie el crecimiento económico con el desarrollo social y ambiental sustentable, la legislación en torno al agua necesita de una regulación que incorpore elementos en esta dirección. Esto implica que se requiere de una modificación de fondo al código de aguas vigente, de manera tal, que se pueda mantener la naturaleza económica de los derechos de aprovechamiento, pero limitando la cantidad de agua que pueda ser asignada a estos fines en una cuenca, asegurando el otorgamiento de recursos hídricos a aquellos usos económicamente no productivos, pero indispensables para la comunidad, como el caudal ecológico, la agricultura de subsistencia de campesinos y etnias y el acceso al agua potable de poblados rurales, entre otros.

La política en este sentido debiera regular el mercado a nivel de cuenca. Para esto se propone eliminar el carácter de perpetuidad de los derechos de aprovechamiento y transformarlos en concesiones de plazo variable, según la actividad productiva y de carácter renovables condicionados a su uso y mantención; los derechos asignados debieran ser libremente transables en torno a la misma actividad productiva para la cual fueron asignados, entendiéndose que de esta manera se conserva la priorización de usos definida en cada cuenca por la Mesa de Agua y las transacciones entre usos debiera ser regulada por esta misma instancia y se debiera mantener fuera del mercado una proporción de las aguas que en cada cuenca sea definida como requisito para mantener las funciones ambientales de ésta entendiéndose que el mantener el sistema ambiental, es requisito necesario para el mantenimiento de las actividades antrópicas que dependen de este recurso.

### **26.3.3.3 Interrelaciones entre aguas superficiales y subterráneas**

Una debilidad estructural de la gestión del agua actual en relación a la GIRH radica en la división de las aguas superficiales (en secciones de ríos), como las superficiales de las aguas subterráneas. La Propuesta de gestión a nivel de cuencas hidrográficas debiera ser planteada bajo la perspectiva de que el sistema hídrico constituye una unidad en que sus componentes son interdependientes y constituyen un continuo con particularidades hidrológicas que los diferencian, por lo cual debieran ser gestionados como un todo. La administración puede seguir siendo realizada por los mismos privados en el marco de las decisiones de la Mesa de Agua.

---

<sup>91</sup> Comunicación personal con Pilar Valenzuela, encargada CONAMA de la Estrategia de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas, 11 de agosto de 2009.



#### **26.3.4 Fortalecimiento productivo sustentable**

Para tender a una GIRH se debe reconocer la necesidad de desarrollo productivo en todas sus dimensiones, económicamente como fuente de ingresos para el país, socialmente como fuente de empleos, entre otras. En ese marco, la política de recursos hídricos debiera ser coherente con las políticas de fomento productivo, de manera tal que éstas, de manera integrada, promuevan el desarrollo del país a nivel de cuencas, en función de la vocación de éstas (minero, industrial, agrícola, turístico, forestal, energética, mixta o múltiple) y acorde con las capacidades de las cuencas para sustentar estas actividades sin que generen un deterioro del sistema.

#### **26.3.5 Información territorial para la toma de decisiones**

Si bien en la actualidad existen sistemas que recogen información muy completa de variables ambientales, sociales y económicas, normalmente esta información no está centralizada de manera que facilite su uso para la toma de decisiones. En particular en torno al agua, las decisiones requieren de información que muchas veces no existe en el momento o lugar que se necesita o ésta es de calidad deficiente. La gestión del agua debiese contar con información base de cantidad y calidad de las aguas, a nivel de cuencas en una red de medición y monitoreo de calidad, a su vez debiese disponer de información sobre el uso del territorio que se relaciona con los recursos hídricos. Es por esto que la propuesta apunta a entregar a la DGA y sus representaciones regionales y a los Programas de Mesas del Agua, las herramientas y recursos legales y económicos para desarrollar un sistema de información acorde a estos requerimientos, de manera que las decisiones en torno al agua, su asignación, reasignación, conservación, y cualquier otra decisión que regule el recurso, sea en base a información técnica adecuada y confiable.



## Conclusiones

---





A través de la amplia revisión que se presenta en este estudio, ha sido posible generar una visión general del estado del recurso hídrico en Chile, en términos de su disponibilidad y de la situación ambiental.

Por una parte, la disponibilidad del agua es insuficiente para satisfacer las demandas actuales de los diferentes usuarios en todas las cuencas pilotos de este estudio, excepto en los ríos Biobío y Baker, que cuentan con ventajas climáticas de precipitación y temperatura que les otorgan una oferta natural de agua mayor, respecto del resto de las cuencas. A pesar de que esta realidad no causa mayores sorpresas y confirma una aseveración hecha por diversos especialistas y autoridades, no deja de ser preocupante, ya que de acuerdo a las estimaciones de demanda futura creciente en todos los sectores demandantes, esta situación se verá agravada, más aun considerando factores como el cambio climático, que amenaza con acentuar y extender las condiciones de aridez a un mayor territorio del país.

Frente a este escenario, aparece como alternativas importantes el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan incorporar nuevas fuentes de agua a la oferta. Para esto, la utilización de recursos no convencionales como la regeneración y reutilización de aguas y la desalación se vislumbran como alternativas que pueden contribuir a estos fines, ya que permiten optimizar la utilización de recursos hídricos que han sido desechados o bien de aguas saladas o salobres, que no cumplen con los estándares para la mayoría de las necesidades hídricas humanas (básicas y productivas). El gran obstáculo para la masificación de estas tecnologías, sin embargo, es el costo de inversión y mantención, agregando a ello los altos niveles de consumo de energía que implican, lo que de una u otra manera recae en los usuarios, quienes no necesariamente están dispuestos a pagarlos.

Por otra parte, en la metodología que actualmente se utiliza para la determinación técnica de la disponibilidad de agua, existen aspectos que son perfectibles y que ayudarían a mejorar los procedimientos utilizados de manera oficial para definir las cantidades de agua que ofrece un sistema hídrico. Así se podría reducir la brecha que existe entre la disponibilidad real de agua y la demanda comprometida en la asignación de derechos de aprovechamiento.

En general en todas las cuencas, con excepción del Baker, se hace mención a casos en que las extracciones de agua son mayores a la disponibilidad de agua en la fuente y/o presentando momentos en el año en que los cauces se secan, esto ocurre incluso en zonas del sur de Chile, como la sub cuenca del río Laja (cuenca del río Biobío); sin embargo, esta situación de agotamiento físico de los cuerpos de agua se ve acentuada en el norte del país, donde se presentan los casos más extremos, como la cuenca del río Copiapó, donde esta investigación da cuenta de que la demanda de agua superficial y subterránea es mucho mayor a la oferta.

Así, la situación de los recursos hídricos en Chile muestra un escenario actual en que el agotamiento de las aguas, la contaminación y los conflictos son parte de la realidad, o que, según las proyecciones de aumento de la demanda y del cambio climático, debiera agudizarse en el futuro de no presentarse un giro en la forma en que se gestionan estos recursos.

En este sentido, las propuestas generadas en este proyecto han sido planteadas desde la perspectiva de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos como modelo de gestión objetivo. En este marco, por un lado se ha generado un Política de recursos hídricos y



una Estrategia de largo plazo. La primera está enfocada a las cuatro dimensiones propias de la gestión del agua: ambiental, social, económica e institucional, que han sido abordadas a través de sesenta líneas de acción generales, de éstas, algunas se ha profundizado por medio del desarrollo de propuestas de resolución de conflictos y en la generación de instrumentos orientados al uso eficiente de los recursos hídricos. Todas estas propuestas debieran ser analizadas en profundidad, de manera interdisciplinaria y participativa por parte de los involucrados en la implementación de éstas para evaluar su factibilidad.

Las propuestas planteadas en esta política tienen por propósito intervenir en aquellos aspectos del modelo actual de gestión del agua que son considerados discordantes con la GIRH, y que hemos considerado pueden enfrentarse sin la necesidad de modificaciones legales estructurales y, por lo tanto, no representan los cambios profundos que la gestión actual requiere.

Así, para propender a una gestión de las aguas como la propuesta en la GIRH, se hace necesario una modificación estructural de cómo se realiza la gestión del agua en la actualidad en nuestro país. Para ello hemos desarrollado una propuesta de Estrategia de largo plazo que recoge los elementos centrales a considerar y reformular para la elaboración de una nueva política que aborde la gestión del agua de manera sistémica, a nivel de cuenca, que reconozca la dependencia de las actividades productivas del adecuado funcionamiento ambiental del sistema y de manera indivisible de los requerimientos humanos no productivos; todo esto en un escenario cambiante.



## Bibliografía

---





- Adamowicz, W., J. Louviere and M. Williams. 1994. Combining stated and revealed preference methods for valuing environmental amenities. *Journal of Environmental Economics and Management* 26:271-292.
- Aguirre, B. 2008. Comunidades del río Laja se pelean por agua. *El Mercurio, Economía y Negocios* on line. Noticia del 30 de marzo de 2008. Disponible en <http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=44489> Leído el 17 de junio de 2009.
- Al Barwani, H.H and A. Purnama. 2008. Evaluating the effect of producing desalinated seawater on hypersaline Arabian Gulf. *European Journal of Scientific Research* 22(2):279-285.
- Al-Bahou, M., Z. Al-Rakafa, H. Zakia and H. Ettouneyb. 2007. Desalination xperience in Kuwait. *Desalination*, 204:403-415.
- Amer, K.M. and M.A. Al Rahman. 2005. Water resources management and development to combat water scarcity in Qatar. *Arab Water World* 29(6):60-63.
- Andréasson, J., S. Bergström, B. Carlsson, L.P. Graham and G. Lindström. 2004. Hydrological change: climate impact simulations fos Sweden. *Ambio*, 33(4-5):228-234.
- Andreu, J., J. Capilla and E. Sanchis. 1996. AQUATOOL, a generalized decision support system for water resources planning and operational management. *Journal of Hydrology*, 117(96):269-291.
- Anónimo. 2007. Desalación de agua, una alternativa para el norte chileno. *Ecoamérica* 66:15-17. Disponible en: [http://www.ecoamerica.cl/pdf\\_notas/66/eco66\\_pag15-17.pdf](http://www.ecoamerica.cl/pdf_notas/66/eco66_pag15-17.pdf) Leído el 12 de mayo de 2009.
- Arrow, K., R. Solow, P.R. POrtney, E.E. Leamer, R. Radner and H. Schuman. 2001. Report of the NOAA Panel on contingent valuation. NOAA. Disponible en: <http://www.darrp.noaa.gov/library/pdf/cvblue.pdf> Leído el 20 de julio de 2009.
- Asano, T. 2002. Multiple uses of water: reclamation and reuse. *GAIA*, 11(4):277-280.
- Asociación de Canalistas Canal Zañartu. 2007. Proyecto Central Hidroeléctrica de pasada Trupán. Declaración de Impacto Ambiental. Abril 2007. Disponible en [https://www.e-seia.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id\\_expediente=2126804&idExpediente=2126804&modo=ficha](https://www.e-seia.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?id_expediente=2126804&idExpediente=2126804&modo=ficha) Leído el 6 de julio de 2009.
- Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007a. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile. 75 p.
- Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 2007b. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile, 109 p.
- Azqueta, D. 2002. Introducción a la economía ambiental. McGraw-Hill, Madrid.
- Bamber, J. and A. Rivera. 2007. A review of remote sensing methods for glacier mass balance determination. *Global and Planetary Change*, 59:138-148.
- Barañaño, P. y L. Tapia, L. 2004. Tratamiento de las aguas servidas: situación en Chile. *Ciencia & Trabajo*, 6 (13): 111-117.
- Barra, R., J.C. Colombo, G. Eguren, N. Gamboa, W.F. Jardim and G. Mendoza. 2005. Persistent organic pollutants (POPs) in Eastern and Western South American Countries. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 185: 1-33.
- Bartkowski, T. 1986. *Zastosowania geografii fizycznej*. PWN, Warszawa, 270-278.



Bastidas, G. 2006. La ruta hacia la gestión integrada, un cambio de modelo mental. 10 pp. En: Jornadas sobre las aguas subterráneas en la gestión integrada de los recursos hídricos. Mesa redonda: La gestión integrada: Perspectivas económica, jurídica y ambiental. Barcelona, España, 25 Octubre 2006. Disponible en: <http://www.unizar.es/fnca/docu/docu137.pdf> Leído el 20 de marzo de 2009.

Bateman, I., R. Carson, B. Day, N. Hanemann, T. Hett, N. Hanley, M. Jones-Lee, G. Loomes, S. Mourato and E. Ozdemiroglu. 2002. Economic valuation with stated preference techniques: a manual. Cheltenham, Edward Elgar.

Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof (Eds.). 2008. El Cambio Climático y el agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra. 224 p.

Bauer, C. 1997. Bringing Water markets down to earth: The political economy of water rights in Chile, 1976-95. *World Development*, 25(5):639-656.

Bauer, C. 1998. Slippery property rights: Multiple water use and the neoliberal model in Chile, 1981-1995. *Natural Resources Journal*, 38(1):109-55.

Bauer, C. 2004. Canto de sirenas. El derecho de aguas chileno como modelo para reformas internacionales. Bakeaz y Fundación Nueva Cultura del Agua, Bilbao. 238 p.

Bauer, C. 2005. In the image of the market: the Chilean model of water resources management. *Int. J. Water*, 3(2):146-65.

Beven, K.J., M.J. Kirkby, N. Schofield, and A.F. Tagg. 1984. Testing a physically-based flood forecasting model (TOPMODEL) for three U.K. Catchments. *Journal of Hydrology*, 69:119-143.

Biblioteca del Congreso Nacional, BCN. 2009a. Promulga el Protocolo Específico Adicional al Tratado sobre Medio Ambiente con Argentina, sobre Cooperación en Materia Forestal. Decreto DTO-1257 del Ministerio de Relaciones Exteriores. Promulgado el 12 de agosto de 1997. Publicado el 23 de octubre de 1997. Disponible en: [http://www.bcn.cl/lc/tinterna/tratados\\_pdf/tratado\\_uli230.pdf](http://www.bcn.cl/lc/tinterna/tratados_pdf/tratado_uli230.pdf) Leído el 21 de abril de 2009.

Biblioteca del Congreso Nacional, BCN. 2009b. Promulga el Tratado con Argentina sobre Medio ambiente y sus Protocolos Específicos Adicionales sobre Protección del Medio Ambiente Antártico y Recursos Hídricos Compartidos, suscrito el 2 de agosto de 1991. Decreto DTO-67 del Ministerio de Relaciones Exteriores. Promulgado el 16 de enero de 1992. Publicado el 14 de abril de 1993. Disponible en: [http://www.bcn.cl/lc/tinterna/tratados\\_pdf/tratado\\_dani347.pdf](http://www.bcn.cl/lc/tinterna/tratados_pdf/tratado_dani347.pdf) Leído el 21 de abril de 2009.

Biblioteca del Congreso Nacional, BCN. 2009c. Sin título. Disponible en: <http://www.bcn.cl/lc/tinterna/glosario#ratificados> Leído el 21 de abril de 2009.

Biblioteca del Congreso Nacional, BCN. 2006. Cambio climático. Convenciones y acuerdos firmados por Chile sobre cambio climático. Disponible en: [http://www.bcn.cl/leyes\\_temas/leyes\\_por\\_tema.2006-02-06.3961625504](http://www.bcn.cl/leyes_temas/leyes_por_tema.2006-02-06.3961625504) Leído el 3 de junio de 2009.

Boer, J and U. Brinkman. 1994. The use of fish as biomonitors for the determination of contamination of the aquatic environment by persistent organochlorine compounds. *Analytical Chemistry*, 13(9):397-404.

Bórquez, R. 2007. Análisis del escenario actual de los glaciares de montaña en Chile desde la mirada de la seguridad ecológica. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 164 p.

Brown, E. 2004. Sistema de administración. En: Investigación sistémica sobre regímenes de gestión del agua. El caso de Chile. *Global Water Partnership*. 130 p.

Büchi, H. 1993. La transformación económica de Chile. Del estatismo a la libertad económica. Grupo Editorial Norma, Bogotá.





Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA. 2006. Estrategia nacional de gestión integrada de cuencas hidrográficas. Taller internacional, 13 y 14 de Diciembre 2006. CEPAL, Santiago, Chile. Disponible en [http://www.conama.cl/portal/1301/articles-38357\\_ppt\\_AnaLyaUriarte.ppt](http://www.conama.cl/portal/1301/articles-38357_ppt_AnaLyaUriarte.ppt) Leído el 28 de agosto de 2009.

Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA. 2006. Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica. Centro de Ecología Aplicada Ltda., Chile. 114 p.

Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA. 2007. Estrategia nacional de gestión integrada de cuencas hidrográficas. Disponible en: <http://www.conama.cl/portal/1301/article-42435.html> Leído el 06 de mayo de 2009.

Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA. 2008a. Plan de acción nacional de cambio climático. Disponible en: [http://www.conama.cl/portal/1301/articles-44691\\_recurso\\_1.pdf](http://www.conama.cl/portal/1301/articles-44691_recurso_1.pdf) Leído el 05 de junio de 2009.

Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA. 2008b. Anteproyecto de normas secundarias de calidad ambiental para la protección de las aguas continentales superficiales de la cuenca del río Baker. Disponible en: [www.conama.cl/ciudadaniaambiental/1312/articles-43467\\_AnteproyectoBaker.doc](http://www.conama.cl/ciudadaniaambiental/1312/articles-43467_AnteproyectoBaker.doc) Leído el 14 de mayo de 2009.

Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA. 2009a. Política para la protección y conservación de glaciares. Disponible en: [http://www.sinia.cl/1292/articles-45467\\_PoliticaGlaciares.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-45467_PoliticaGlaciares.pdf) Leído el 20 de abril de 2009.

Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA. 2009b. Vulnerabilidad de Chile según el IPCC. Disponible en: <http://www.conama.cl/especiales/1305/article-40154.html> Leído el 20 de mayo de 2009.

Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA. 1997. Informe Multisectorial Episodio de Contaminación río Loa. Marzo 1997, Antofagasta, Chile.

Comisión sobre el Desarrollo Sostenible, CDS. 2001. Indicadores de desarrollo sostenible: marco y metodologías. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, Naciones Unidas, Nueva York, 63 p.

Committee on Advancing Desalination Technology, National Research Council. 2008. Desalination: a national perspective. The National Academies press. Washington, D.C. USA. 312 p. Disponible en: [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=12184#toc](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12184#toc) Leído el 12 de mayo de 2009.

Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, CNUMAD. 1992. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html> Leído el 17 de junio de 2009.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, CMNUCC. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf> Leído el 12 de mayo de 2009.

Convención Ramsar 2008. The list of wetlands of international importance. Disponible en: <http://www.ramsar.org/sitelist.pdf> Leído el 5 de abril de 2009.

COP Convención Ramsar. 2002. Humedales: agua, vida y cultura. Resolución VIII.4. Principios y lineamientos para incorporar las cuestiones concernientes a los humedales en el manejo integrado de las zonas costeras (MIZC). 8ª Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán). Disponible en: [http://www.ramsar.org/res/key\\_res\\_viii\\_04\\_s.pdf](http://www.ramsar.org/res/key_res_viii_04_s.pdf) Leído el 20 de abril de 2009.

Corja, J. y E. Calfucura. 2007. Práctica en valoración y financiamiento de áreas protegidas. pp. 145-148. En: PNUD/CONAMA (Eds.). Áreas marinas y costeras protegidas de múltiples usos: alcances y desafíos del modelo de gestión para la conservación de la biodiversidad marina en Chile. Ocho Libros Editores, Santiago, Chile.



Corporación de la Madera, CORMA. 2009. Plantas de celulosa. Disponible en: <http://www.cormabiobio.cl/nuestroaccionar/departamentos/celulosaypapel/index.htm> Leído el 4 de junio de 2009.

Corporación Nacional Forestal, CONAF 2003. Parque Nacional Nevado Tres Cruces. Disponible en: [http://www.conaf.cl/?seccion\\_id=6efe5ae63d2dfc2e5f31dba0dd48c63e&unidad=2](http://www.conaf.cl/?seccion_id=6efe5ae63d2dfc2e5f31dba0dd48c63e&unidad=2) Leído el 20 de marzo de 2009.

Corporación Nacional Forestal, CONAF. 2008a. Parque Nacional Radal Siete Tazas. Disponible en: [http://www.conaf.cl/?page=home/contents&seccion\\_id=ce2318579fa1a8c058470b39e60823af&unidad=2&](http://www.conaf.cl/?page=home/contents&seccion_id=ce2318579fa1a8c058470b39e60823af&unidad=2&) Leído el 18 de mayo de 2009.

Corporación Nacional Forestal, CONAF. 2008b. Reserva Nacional Radal Siete Tazas. Disponible en: [http://www.conaf.cl/?page=home/contents&seccion\\_id=0a219497f1abe2038ca34ee504a87e74&unidad=2&](http://www.conaf.cl/?page=home/contents&seccion_id=0a219497f1abe2038ca34ee504a87e74&unidad=2&) Leído el 18 de mayo de 2009.

Cortez, E. 2003. Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la Región Metropolitana. Memoria de Ingeniero Civil Químico, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 99 p.

Cristi, O., S. Vicuña, L.G. de Azevedo y A. Baltar. 2000. Mercado de agua para irrigación: Una aplicación al Sistema Paloma de la cuenca del Limarí, Chile. World Bank Water Partnership Program (BNWPP) Trust Fund: TF024014. 16 p.

Darwish, M.A and A.M. Darwishb. 2008. Energy and water in Kuwait: A sustainability viewpoint, Part II. Desalination, 230:140–152.

Darwish, M.A. and N. Al Najem. 2005. The water problem in Kuwait. Desalination, 177:167-177.

Darwish, M.A., F.M. Al-Awadhi and A.M. Darwish. 2008. Energy and water in Kuwait Part I. A sustainability view point. Desalination, 225:341-355.

Dawoud, M.A. 2005. The role of desalination in augmentation of water supply in GCC countries. Desalination, 186:187-198.

De Matteis, F. 1994. The role of cytochrome P-450 in drug metabolism and toxicity. p. 81-92 In: Renzoni, A., N. Mattei, L. Lari & M.C. Fossi (Eds.) Contaminants in the environment a multidisciplinary assesement of risk to man and other organisms. CRC Press, Inc. Lewis Publishers.

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile. 2005. Criterios de calidad de aguas o efluentes tratados para uso en riego. Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Santiago, Chile. 245p.

Department for Environment, Food and Rural Affaires, DEFRA. 2009. Indicador summaries. Disponible en: <http://www.defra.gov.uk/sustainable/government/progress/regional/summaries/index.htm> Leído el 10 de agosto de 2009.

Díaz, G.E. and T. Brown. 1997. AQUARIUS: A modelling system for river basin water allocation. USDA Forest Service. General Technical Report RMGTR- 299, September.

DICTUC y Dirección General de Aguas, DGA. 2008. Evaluación preliminar de alternativas de mitigación de contaminantes en el río Lluta a partir de una caracterización de las fuentes de contaminación. Departamento de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile. 206 p.

Dirección General de Aguas, DGA. 2003a. Determinación de los derechos de aprovechamiento de agua subterránea factibles de constituir en los sectores de Calama y Llalqui, cuenca del río Loa, II Región. Informe técnico. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, Santiago, 39 p.

Dirección General de Aguas, DGA. 2003b. Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Maipo. Informe técnico. S.D.T. N° 145. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DGA, Ministerio de Obras Públicas, Chile.

Dirección General de Aguas, DGA. 2004a. Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Biobío. Anexo 3b. Informe técnico Departamento de Administración de Recursos Hídricos, Santiago. 25 p.

Dirección General de Aguas, DGA. 2004b. Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue. Informe técnico. S.D.T. N° 171. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DGA, Ministerio de Obras Públicas, Chile.

Dirección General de Aguas, DGA. 2005a. Evaluación de los recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Loa. Informe técnico. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, Santiago, 29 p.

Dirección General de Aguas, DGA. 2005b. Áreas de protección III Región. Disponible en: [http://www.dga.cl/otros/mapas//protegidas\\_3.jpg](http://www.dga.cl/otros/mapas//protegidas_3.jpg) Leído el: 8 de mayo de 2009.

Dirección General de Aguas, DGA. 2007. Informe preliminar. Determinación del potencial hidroeléctrico XI Región y Provincia de Palena X Región. S.I.T. N° 120. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, MOP, Chile. Disponible en: <http://www.dga.cl/otros/informestecnicos/informestecnicos/SIT120/potenciafinal.pdf> Leído el 2 de junio de 2009.

Dirección General de Aguas, DGA. 2007a. DGA reafirma estrategia de mesas regionales del agua. Disponible en: <http://www.dga.cl/index.php?option=content&task=view&id=1188&Itemid=204> Leído el 11 de abril de 2009.

Dirección General de Aguas, DGA. 2007b. Sistema PMG de gestión territorial. Formulario etapa N° 4 - Evaluación. Presentación información servicios desconcentrados. Disponible en: [http://www.pmgterritorial.gov.cl/validaciones/2008/mop/dga/DGA\\_ETAPA1\\_2008.doc](http://www.pmgterritorial.gov.cl/validaciones/2008/mop/dga/DGA_ETAPA1_2008.doc) Leído el 12 de abril de 2009.

Dirección General de Aguas, DGA. 2008a. Estrategia regional de recursos hídricos región de Antofagasta. 51 p.

Dirección General de Aguas, DGA. 2008b. Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero regiones centro-norte de Chile. 30 p.

Dirección General de Aguas, DGA. 2008c. Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Limarí. Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DGA, Ministerio de Obras Públicas, Chile, 40 p.

Dirección General de Aguas, DGA. 2008d. Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos. S.I.T. N° 156. Ministerio de Obras Públicas, Chile. Disponible en: [http://www.dga.cl/otros/documentos/manual\\_2008.pdf](http://www.dga.cl/otros/documentos/manual_2008.pdf) Leído el 12 de mayo de 2009.

Dirección General de Aguas, DGA. 2009. Derechos constituidos. Disponible en: <http://www.dga.cl/index.php?option=content&task=section&id=30&Itemid=296> Leído el 29 de mayo de 2009.

Donoso G., A. Jouravlev, H. Peña y E. Zegarra. 2004. Mercados (de derechos) de agua: Experiencias y propuestas en América del Sur. Serie Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, n° 80. Disponible en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/8/20578/lcr2224s.pdf> Leído el 18 de marzo de 2009.

Dourojeanni, A. 1999. Debate sobre el Código de Aguas de Chile. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). LC/R.1924. 30 de julio de 1999. Santiago, Chile. Disponible en: <http://www.eclac.cl/publicaciones/MedioAmbiente/4/lcr1924/LCR1924-E.pdf> Leído el 14 de abril de 2009.



Dourojeanni, A., A. Jouravlev y G. Chávez. 2002. Gestión del agua a nivel de cuencas: Teoría y práctica. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile. 83 p.

Empresa de Servicios Sanitaria del Maule S.A., ESSAM. 1993. Memoria anual. Descripción de las principales obras de agua potable y de red de alcantarillado, pp. 20-21.

Environment Canada. 2005. Canada's National Environmental Indicator Series. Disponible en: [http://www.ec.gc.ca/soer-ree/English/Indicator\\_series/default.cfm](http://www.ec.gc.ca/soer-ree/English/Indicator_series/default.cfm) Leído el 10 de julio de 2009.

Escobar, F., G. Casassa y V. Pozo. 1995. Variaciones de un glaciar de montaña en Los Andes de Chile central en las últimas dos décadas. Bull. Inst. fr. études andines, 24(3):683-695.

Espinoza, M. 2000. Recursos hídricos de la zona fronteriza. Tratamiento del tema de los recursos hídricos compartidos entre Chile y Argentina. Disponible en: [http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos\\_azul/TC-204.htm](http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_azul/TC-204.htm) Leído el 21 de abril de 2009.

Espinoza, M. 2001. Recursos hídricos de la zona fronteriza. Tratamiento del tema de los recursos hídricos compartidos entre Chile y Argentina. Presentado en el III Encuentro de las Aguas: Agua, Vida y Desarrollo, Santiago, Chile, 24 al 26 de octubre de 2001. Disponible en [http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos\\_azul/TC-204.htm](http://www.aguabolivia.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/trabajos_azul/TC-204.htm). Leído el 13 de julio de 2009.

Estadísticas de América Latina y el Caribe, CEPALSTAT. 2007. Selección de tema: Estadísticas e indicadores ambientales (BADEIMA). Indicadores de desarrollo sostenible (BADELSAC). Disponible en: <http://websie.eclac.cl/sisgen/ConsultaIntegrada.asp?idAplicacion=2> Leído el 25 de junio de 2009.

Farías, A. y M. Morales. 2001. Evaluación de la calidad de las aguas del estero Piduco y canal Baeza (VII Región, Chile) y sus potenciales efectos sobre la salud humana. Tesis grado Licenciado en Tecnología Médica. Universidad de Talca, Chile. 122 p.

Fariñas, M. 2005. El coste del agua producida por las grandes desaladoras de agua de mar en España. Ingeniería y Territorio 72:62-67.

Faúndez, C. 2007a. Reseña histórica de los conflictos por el agua entre Chile y Argentina. Causas y mecanismos de resolución. pp. 103-116. En: Artázar, M. y P. Milet (Eds.). Nuestros vecinos. Instituto de Estudios Internacionales de la Universidad de Chile. RIL Editores, Santiago, Chile.

Faúndez, C. 2007b. Las aguas que nos dividen. Causas y mecanismos de resolución de los conflictos por el agua dulce entre Chile y Bolivia. pp. 375-395. En: Artázar, M. y P. Milet (Eds.). Nuestros vecinos. Instituto de Estudios Internacionales de la Universidad de Chile. RIL Editores, Santiago, Chile.

Field, B. 1995. Economía ambiental: una introducción. McGraw-Hill, Santa Fé de Bogotá.

Florish, V. and G.F. Goforth. 1990. Planning the development of de OASIS advisory system optim resource water management. Proc ASCE 17th Nat1 Conf. Publ. by ASCE, Boston Society of Civil Engineers Sect, Boston MA, USA p. 288-293.

Folke C., S. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Elmqvist, L. Gunderson and C.S. Holling. 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. Annual Review in Ecology, Evolution and Systematics, 35: 557-581.

Fritsch, E., D. Leifeld, B. Schwerdtfeger, G. Sepúlveda, L. Villena, H. Weber, H. Zinner y H. Jürgen. 1999. Diagnóstico del impacto ambiental de la minería en la zona del río Loa (II Región de Chile). Resultados de un diagnóstico geoambiental de la cuenca del río Loa (II Región). Informe técnico resumido. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago, 86p.



Fuster, R. 2006. Equidad en el acceso al agua en la agricultura. Evaluación del modelo chileno de gestión de las aguas. Estudio de caso, la cuenca del río Limarí. Tesina de Maestría para el Doctorado en Ciencias Ambientales. España, Universitat Autònoma de Barcelona/ICTA. 53 p.

Fuster R., León A. y D. Saurí. 2009b. Participación y toma de decisiones en torno al agua en un modelo de mercado. El caso de la cuenca del Limarí. Artículo en revisión.

Fuster, R., M.J. Llambías y A.K. Palacios. 2009a. Capítulo 10: Cuerpos legales e institucionales en la gestión del agua en Chile. En: Fuster, R. (Ed.) Hidrología para Ingenieros en Recursos Naturales, Universidad de Chile. (En imprenta).

Gastó, J., F. Cosio y D. Panario. 1993. Clasificación de ecorregiones y determinación de sitio y condición. Red de Pastizales Andinos. REPAAN, CIID, Canadá. Quito, Ecuador, 354 p.

GEA Consultores Ambientales. 2009. Calidad ambiental. Indicadores ambientales. Disponible en: [http://www.gea.com.uy/indicadores\\_ambientales.php](http://www.gea.com.uy/indicadores_ambientales.php) Leído el 14 de julio de 2009.

Georgiou, S., I. Bateman, M. Cole and D. Hadley. 2000. Contingent ranking and valuation of river water quality improvements: testing for scope sensitivity, ordering and distance decay effects. CSERGE Working Paper GEC 2000-18. University of East Anglia, UK, CSERGE.

Global Environment Facility, GEF. 2002. Chile water and biodiversity, attachment 1 ecosystem profiles summary (spanish version). Disponible en: [http://www.thegef.org/Documents/Work\\_Programs/wp\\_Feb01/Chile\\_Water\\_Spanish.pdf](http://www.thegef.org/Documents/Work_Programs/wp_Feb01/Chile_Water_Spanish.pdf) Leído el 13 de mayo de 2009.

Global Water Partnership (GWP). 2000. Manejo integrado de recursos hídricos. Estocolmo, Suecia. 80 p.

Global Water Partnership (GWP/SAMTAC). 2004a. Taller nacional-Chile: Hacia un Plan Nacional de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. 10-11 de diciembre de 2003, Documento de trabajo.

Global Water Partnership (GWP/SAMTAC). 2004b. II Taller nacional-Chile: Marco General y Estrategias para un Plan Nacional de Gestión de Recursos Hídricos. Segunda versión, Diciembre 2004, Documento de trabajo.

Golder Associates. 2006. Diagnóstico de los recursos hídricos de la cuenca del río Copiapó y proposición de un modelo de explotación sustentable. Informe final. 132 p.

González, M. 2009. Análisis de los desastres socio-naturales en la ciudad de Valparaíso. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. 141 p.

Goodland, R., H. Daly, S. El Serafy, B. von Droste (Eds.) 1992. Medio ambiente y desarrollo sostenible. Más allá del Informe Brundtland. Ed. Trotta. Madrid.

Gregersen, H.M., K.N. Brooks, J.A. Dixon and L.S. Hamilton. 1987. Guidelines for economic appraisal of watershed management projects. FAO Conservation Guide No. 16, Rome, 144 p.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC. 2001. Climate change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [McCarthy, J.J., O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds.]. Cambridge University Press, Cambridge. 1032 p.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC. 2007a. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y A. Reinsinger (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza. 104 p.



Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC. 2007b. *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Perry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds.]. Cambridge University Press, Cambridge. 976 p.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, IPCC. 2009. *Glosario de términos*. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf> Leído el 4 de junio de 2009.

GWI/International Desalination Association Worldwide Desalting Plant Inventory. 21 ST. 2008. *Desalinisation in 2008. Global Market Snapshot*. Disponible en [www1.prweb.com/prfiles/2008/10/21/199283/IDADesalinationSnapshotOctober2008.pdf](http://www1.prweb.com/prfiles/2008/10/21/199283/IDADesalinationSnapshotOctober2008.pdf) Leído el 15 de mayo de 2009.

Habit E., M. Belk and O. Parra. 2007. Response of the riverine fish community to the construction and operation of a diversion hydropower plant in central Chile. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 17: 37-49.

Habit E., M.C. Belk., R.C. Tuckfield and O. Parra. 2006. Response of the fish community to human-induced changes in the Biobío River in Chile. *Freshwater Biology* 51:1-11.

Habit E., O. Parra y C. Valdovinos. 2005. Ictiofauna de un sistema fluvial receptor de aguas servidas: respuestas a una nueva planta de tratamiento (río Quilque, Chile Central). *Gayana* 69(1): 94-103.

Habit, E. 2003. Calidad del agua del estero Piduco (Talca, VII Región): un análisis basado en la data existente. *Theoria*, 12:43-54.

Hadjigeorgalis, E. 2004. *Comerciendo con incertidumbre: Los mercados de agua en la agricultura chilena*. Cuadernos de Economía, 41(Abril):3-34.

Hanley, N. and C. Splash (Eds.). 1993. *Cost benefit analysis and the environment*. Edward Elgar, Northampton, MA. 288 p.

Harris, J.M. 2002. *Environmental and natural resources economics: a contemporary approach*. Houghton Mifflin Company, Boston.

Hashim, A. and M. Hajjaj. 2005. Impact of desalination plants fluid effluents on the integrity of seawater, with the Arabian Gulf in perspective. *Desalination*, 182:373-393.

Haveman, R.H. and B.A. Weisbrod. 1975. The concept of benefits in cost-benefits analysis: the emphasis on water pollution control activities. In: Peskin, H. and E. Seskin (Eds.). *Cost benefits analysis and water pollution policy*. The Urban Institute, Washington DC.

Hearne, R. and W. Easter. 1995. *Water allocation and water markets: An analysis of gains from trade in Chile*. WBTP 315, World Bank, Washington DC. xi + 75 p.

Herrera L., J. Hernández y A. Urzúa. 1999. Reutilización de aguas servidas para regadío urbano en Chile. *Revista Ciencia Abierta, Chile*, N° 6. Disponible en: <http://cabierta.uchile.cl/revista/6/public.htm> Leído el 28 de agosto de 2009.

Hosking, J. 1990. L-moments analysis and estimation of distributions using linear combination of order statistics. *Journal of Stat Society, B*, Vol 52:105-124.

Hosking, J. And J. Wallis. 1997. *Regional flood frequency analysis: an approach based on L-moments*. Cambridge University Press, New York. 245 pp.

Hosking, J., J. Wallis and E. Wood. 1985. Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics*, 27:251-61.



Hsu, T.B., and R.L. Pigford. 1989. Salt removal from water by continuous ion exchange using thermal regeneration. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 28:1345-1351.

IDA. 2009. *Desalination Yearbook 2008-2009*. Global Water Intelligence and International Desalination Association.

Institut National de la Recherche Scientifique, Eau, Terre et Environnement, INRS-ETE). 1997. *INRD-Eau, Terre & Environment*.

Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global, IAI. 2009. ¿Qué es el IAI? Disponible en: <http://wwwsp.iai.int> Leído el 4 de junio de 2009.

Instituto Nacional de Estadística de España, INE España. 2009. Medio ambiente. Indicadores ambientales. Indicadores sobre el agua. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft26%2Fp067%2Fp02&file=inebase&L=> Leído el 23 de junio de 2009.

Instituto Nacional de Estadísticas, INE, España. 2008. Boletín informativo. Estadísticas e indicadores del agua. La información estadística, instrumento necesario para una mejor gestión del agua. Disponible en: [www.ine.es/revistas/cifraine/0108.pdf](http://www.ine.es/revistas/cifraine/0108.pdf) Leído el 12 de mayo de 2009

International Institute for Sustainable Development, IISD. 2009. Green Headline indicators (GHI) to assess sustainability in Sweden. Disponible en: <http://www.iisd.org/measure/compendium/DisplayInitiative.aspx?id=538> Leído el 30 de Julio de 2009.

Iriarte, S. 2003. Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago. Región Metropolitana. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental N° 4, Subdirección Nacional de Geología, Santiago.

Irvin, G. 1985. *Modern cost-benefit methods: an introduction to financial, economic and social appraisal of development projects*. Macmillan, London.

Jacobs, M. 1993. *Then green economy: environment, sustainable development and the politics of the future*. Pluto Press.

Jaiswal R., N. Goel, P. Singh and T. Thomas. 2003. L-Moment based flood frequency modelling. *Journal of the Institution of Engineers, India, Civil Engineering Division*. Vol 84:6-10.

Jouravlev, A. 2001. *Administración del agua en América Latina y el Caribe en el umbral del siglo XXI*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Recursos Naturales e Infraestructura, Santiago, Chile.

Julien, P., B. Sagharian and L. Ogden. 1995. Raster-based hydrologic modeling of spatially-varied surface runoff. *Water Resources Bulletin, AWRA*, 31(3):523-536.

Kaminski, A. and J. Radosz. 2003. Topoclimatic mapping on 1:50000 scale, of the map sheet of Bytom. Disponible en: [http://www.geo.uni.lodz.pl/icuc5/text/P\\_8\\_1.pdf](http://www.geo.uni.lodz.pl/icuc5/text/P_8_1.pdf) Leído el 4 de junio de 2009.

Karels, A. and A. Oikari. 2000. Effects of pulp and paper mill effluents on the reproductive and physiological status of perch (*Perca fluviatilis*) and roach (*Rutilus rutilus*) during the spawning period. *Ann. Zool. Fennici*. 37:65-77.

Koca, D., B. Smith and M.T. Sykes. 2006. Modelling regional climate change effects on potential natural ecosystems in Sweden. *Climatic Change* 78:381-406.



La Tercera. 2009a. Gobierno alista plan de concesiones para transformar agua salada en potable en el norte. Noticia en línea, del 28 de junio de 2009. Disponible en [http://latercera.com/contenido/743\\_148497\\_9.shtml](http://latercera.com/contenido/743_148497_9.shtml) Leído el 28 de junio de 2009.

La Tercera. 2009b. Usurpación de aguas subterráneas tendrá penas de cárcel según Tribunal Constitucional. Edición del 21 de agosto de 2009.

La Tribuna. Sin año. Angostura y Trupán: las nuevas centrales que desafían a la provincia de BíoBío. Diario La Tribuna de Los Ángeles. Disponible en [http://www.diariolatribuna.cl/noticias.php?p\\_id=10557](http://www.diariolatribuna.cl/noticias.php?p_id=10557) Leído el 14 de julio de 2009.

Lancaster, K. 1966. A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 74:132-157.

Landwehr, J.M., N.C. Matalas and J.R. Wallis. 1979. Probability weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles. *Water Resources Research*. Vol. 15: 1055-1064.

Lara, A., A. Wolodarsky-Franke, J. Aravena, R. Villalba, M. Solari, L. Pezoa, A. Rivera and C. Le Quesne. 2005. Climate fluctuations derived from tree-rings and other proxy-records in the Chilean Andes: State of the art and future prospects. pp. 145-156. In: Huber, U., H. Gugman and M. Reasner (Eds.). *Global change and mountain regions. An overview of current knowledge. Advances in Global Change Research*. 650 p.

Larraín, S. 2006. El agua en Chile: entre los derechos humanos y las reglas del mercado. *Revista Polis*, 5(14). Disponible en <http://www.revistapolis.cl/polis%20final/14/larr.htm> Leído el 16 de julio de 2009.

Larraín, S. 2007. Glaciares chilenos: Reservas estratégicas de agua dulce. *Ambiente y Desarrollo, Chile*, 23(2):28-35.

López, M. y A. Gallardo. (Sin año). Valoración de acuíferos en la cuenca del río Lluta, Chile, 1ª región (18°30's-70°20'-69°22'w). Departamento de Manejo de Recursos Forestales, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. 10p. Disponible en: <http://www.unizar.es/fnca/america/docu/1627.pdf> Leído el 13 de mayo de 2009.

Loucks, D.P. and J.R. Da Costa. 1991. *Decision support systems*. Water Resources Planning. Ed. Springer-Verlag.

Lund, J.R. and J. Guzmán. 1999. Derived operating rules for reservoirs in series or in parallel. *Journal of Water Resources Planning and Management* /May/June, pp. 143-153.

Madaleno, I. y A. Gurovich. 2007. Usos conflictivos del agua en el norte de Chile. *Boletín de la A.G.E.*, 45:353-372.

Maggio, M., H. Scandizzo y D. Otal. 2007. Patagonia, paraíso de represas. La amenaza energética. *Azkintuwe*, Agencia Mapuche de Noticias N° 28. Disponible en: [http://www.nodo50.org/azkintuwe/reportaje\\_56.htm](http://www.nodo50.org/azkintuwe/reportaje_56.htm) Leído el 20 de abril de 2009.

Maidment, D.R. (Ed.). 1993. *Handbook of hydrology*. McGraw Hill, New York. 4.1-4.53 p.

Málaga H. 2001. Equidad y reforma de salud en Colombia: otras evidencias. En: Hernández, M. y R. Vega (Eds.). *¿Equidad? El problema de la equidad financiera en salud*. Seminario Internacional: El derecho a la salud y la equidad en los servicios de salud. Observatorio Universitario de Política Social y Calidad de Vida-ALAMES, Bogotá.

Martner, G. 1992. Salvador Allende. 1908-1973. Obras escogidas. (Capítulo 45. Argentina, una lección viviente). Ediciones del Centro de Estudios Políticos Latinoamericanos Simón Bolívar. Fundación Presidente Allende, España. Disponible en: <http://es.geocities.com/chileclarin/index.html> Leído el 21 de abril de 2009.



Matus, N. e Y. Cavieres. 2000. Descargas de residuos líquidos industriales a cursos de aguas superficiales y su impacto en el medio ambiente y la salud: estudio de caso del estero las cruces, comuna de Pudahuel - Santiago - Chile. Trabajo expuesto en el XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, Brasil. Disponible en <http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/impactos/vi-076.pdf> Leído el 13 de junio de 2009.

McCleary, W. 1991. The earmarking of government revenue. World Bank Research Observer (January). Washington: World Bank.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. 2009. Visión sectorial. Taller intersectorial para la formulación de la política hídrica nacional. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?conID=3814&catID=683>. Leído: 02 de Agosto 2009.

Ministerio de Obras Públicas de Chile, MOP. 1987. Balance hídrico de Chile. Santiago. 12 p.

Ministerio de Obras Públicas y Telecomunicaciones (MOP). 2007. DGA llama formar mesa regional del agua para Coquimbo. Disponible en: [http://www.moptt.cl/noticias/200705/070531\\_dga.htm](http://www.moptt.cl/noticias/200705/070531_dga.htm) Leído el 15 de abril de 2009.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU. 1999. Plan de Desarrollo del Sistema de Transporte Urbano de la ciudad de Talca. Comisión de Planificación de Inversiones en Infraestructura de Transporte. Intendencia, Gobierno Regional VII Región, I. Municipalidad de Talca, Chile. 43 pp.

Mitchell, R. and T. Carson (Eds.). 1989. Using surveys to value public goods: the contingent valuation method. Resources for the Future, Washington D.C.

Mitchell, T.D. and P.D. Jones. 2005. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Internacional Journal of Climatology*, 25:693-712.

Mitchell, T.D., T.R. Carter, P.D. Jones, M. Hulme and M. New. 2004. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). Tyndall Centre Working Paper No.55, Tyndall Centre, Norwich, UK, 30 p.

Morales, P., T. Hickler, D.P. Rowell, B. Smith and m.T. Sykes. 2007. Changes in european ecosystem productivity and carbon driven by regional climate model output. *Global Change Biology*, 13:108-122.

Morin, G. 2002. CEQUEAU. INRS\_EYTE. 89 p.

Muñoz, M.D., L. Pérez, R. Sanhueza, R. Urrutia y A. Rovira. 2006. Los paisajes del agua en la cuenca del río Baker: bases conceptuales para su valoración integral. *Revista de Geografía Norte Grande*, 36:31-48.

Nagy, A., K.D. Barlishen, D.H. Burn and S.P. Simonovic. 1989. Expert system for improving the operations planning in Manitoba hydro. ASCE Speciality Conference, Water Resource Planning and Management Division, Sacramento.

Neira, A. 2004. Peligra laguna del Huasco. Mineras agotan agua del norte. *Semanario Punto Final*. Edición 565 del 16 al 29 de abril de 2004.

Nurick, R.L. and J. Richardson. 1994. Environmental valuation: theory, techniques and applications. Wye College, London University.

Observatorio Ciudadano. 2009. Conforman coordinadora regional por la defensa del agua. Disponible en: <http://www.observatorio.cl/observatorio/globalizacion/Noticias/ConformanCoordinadoraRegionaporlaDefensadelAgua.htm> Leído el 13 de mayo de 2009



Observatorio de la Sostenibilidad en España, OSE. 2008. Indicadores de sostenibilidad de los informes anuales del OSE. Disponible en: <http://www.sostenibilidad-es.org/Observatorio+Sostenibilidad/esp/PubInd/Indicadores/> Leído el 19 de julio de 2009.

Okolowicz, W. 1976. General climatology. Warsaw, National Center for Scientific Technical and Economic Information.

Oregon State University (OSU) and United Nations Environment Programme (UNEP). 2002. [Atlas of international freshwater agreements](#). Disponible en: <http://www.transboundarywaters.orst.edu/publications/atlas/> Leído el 12 de julio de 2009.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, Italia. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf> Leído el 13 de abril de 2009.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, FAO. 2005. Desalinización del agua para aplicaciones agrícolas. Comité de Agricultura. 19º período de sesiones. Roma, 13-16 de abril de 2005. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/meeting/009/j4238s.htm> Leído el 12 de mayo de 2009.

Orrego, J. 2002. El estado de las aguas terrestres en Chile: cursos y aguas subterráneas. Fundación Terram, Santiago, Chile. 69p. Disponible en: [http://www.terram.cl/nuevo/images/stories/rppublicos12\(1\).pdf](http://www.terram.cl/nuevo/images/stories/rppublicos12(1).pdf) Leído el 13 de mayo de 2009.

Orrego, J. 2002. Legislación e institucionalidad para la gestión de las aguas. Serie Registro de Problemas Públicos, Terram Publicaciones, No 9. Disponible en: <http://www.terram.cl/images/RPP/rppublicos9.pdf> Leído el 22 de marzo de 2009.

Orrego, R., A. Burgos, G. Moraga-Cid, B. Inzunza, M. González, A. Valenzuela, R. Barra and J.F. Gavilán. 2006. Effects of pulp and paper mill discharges on caged rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): biomarker responses along a pollution gradient in the Biobío river, Chile. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 25(9):2280-2287.

Orrego, R., G. Moraga-Cid, M. González, R. Barra, A. Valenzuela, A. Burgos and J.F. Gavilán. 2005. Reproductive, physiological, and biochemical responses in juvenile female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) exposed to sediment from pulp and paper mill industrial discharge areas. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 24(8):1935-1943.

Orrego, R., J. Guchardi, V. Hernandez, R. Krause, L. Roti, J. Armour, M. Ganeshakumar and D. Holdway. 2009. Pulp and paper mill effluent treatments have differential endocrine-disrupting effects on rainbow trout. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 28(1):181-188.

Ortega, H., G. Muñoz y C. Ortega. 2007. Aportes sedimentarios de los ríos Lluta y San José en la zona costera de la rada de Arica, Chile. *IDESIA (Chile)*, 25(2):37-48.

Ortiz, M., R. Raluy, L. Serra and J. Uche. 2007. Life cycle assessment of water treatment technologies: wastewater and water-reuse in a small town. *Desalination* 204 (2007):121-131.

Otal, D. 2007. Endesa Chile y su fiebre por la energía. AN Red, Agencia de Noticias Redacción. Disponible en: [http://www.anred.org/article.php3?id\\_article=2367](http://www.anred.org/article.php3?id_article=2367) Leído el 20 de abril de 2009.

Palmer, R.N. and K.J. Holmes. 1988. Operational guidance during droughts: expert sistem approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114(6):647-666.

Parra, O., C. Valdovinos, E. Habit y R. Figueroa. 2004. Programa de monitoreo de la calidad del agua del sistema río Biobío: 1994-2004. Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. 31p.

Paszynski J. 1980. Metody sporzadzania map topoklimatycznych, *Dok. Geogr.*, 3:13-28.



- Pearce, D. 1983. Cost benefit analysis. Palgrave Macmillan. 150 p.
- Pearce, D.W. and D. Moran (Eds.). 1994. The economic value of biodiversity. The World Conservation Union, London, Earthscan.
- Pearce, D.W. and R.K. Turner. 1990. Economics of natural resources and the environment. John Hopkins, Baltimore.
- Pearce, D.W. y R.K. Turner. 1995. Economía de los recursos naturales y del medio ambiente. Colegio Economistas de Madrid, Celeste Ediciones, Madrid.
- Peña H. y C. Salazar. 1993. La calidad de las aguas. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Santiago, 32 p.
- Peña, H. 2004a. Sistema de asignación/reasignación. En: Investigación sistémica sobre regímenes de gestión del agua, el caso de Chile. Global Water Partnership. 130 p.
- Peña, H. 2004b. 20 años del Código de Aguas de Chile. Revista Rega, 1(1):91-103.
- Peña, H. y M. Solanes. 2002. La gobernabilidad del agua en las Américas, una tarea inconclusa. Documento preparado para ser presentado al Foro del Agua para las Américas en el Siglo XXI, México, 8 al 11 de octubre de 2002. Disponible en: [http://www.eclac.org/noticias/noticias/2/11412/gobernabilidad\\_msolanes.pdf](http://www.eclac.org/noticias/noticias/2/11412/gobernabilidad_msolanes.pdf) Leído el 16 de abril de 2009.
- Peña, H., F. Vidal y F. Escobar. 1987. Estimación de tasas de derretimiento de nieve. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, VII Congreso Nacional. 20 p. Disponible en: <http://www.dga.cl/otros/informestecnicos/informestecnicos/estimacion/estimacion.pdf> Leído el 15 de abril de 2009.
- Peña, H., M. Luraschi y S. Valenzuela. 2004. Agua, desarrollo y políticas públicas: la experiencia de Chile. Revista de Gestión del Agua de América Latina, 1(2): 25-50.
- Pérez, J., L. Faúndez, R. Fuster, G. Lobos, A. Alzamora y D. Demangel. 2009. Áreas de relevancia ambiental vinculadas al agua en la cuenca del Río Copiapó. Informe final Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables. 138 p.
- Pires, A. 2007a. Indicadores de sostenibilidad para la gestión integral del agua a nivel de cuenca. Presentación realizada en el Workshop Internacional "Gestión sostenible del agua: nuevas tendencias de reutilización, tratamiento y evaluación de la calidad", 2 a 4 de julio de 2007, Barcelona y Terrassa. Disponible en: <http://www.tecspar.org/Documentos/workshop%20%20Terrassa/02-07-02/08-APires.pdf> Leído el 17 de julio de 2009.
- Pires, A. 2007b. Los múltiples aspectos de la integración en los PGIRS. Cátedra UNESCO de Sostenibilidad. Presentación en el Seminario Internacional Gestión Integrada de Rellenos Sanitarios, Universidad de Antioquía, 24 y 25 de julio de 2007. Disponible en: <http://www.tecspar.org/Documentos/pgirs.pdf> Leído el 16 de julio de 2009.
- Potter, C. and J. Richardson. 1993. Economics for environmental management. Wye Collage, London University.
- Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) en Centroamérica. 2004. Guía metodológica de sistematización. FAO, Agencia española de cooperación internacional. Honduras. 62 p.
- Proyecto TWINBAS (Twinning European and third countries river basin for development of integrated water resources management methods), D1.2. 2005. Stakeholder report. Biobío River Basin. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), 19p.



Proyecto TWINBAS (Twinning European and third countries river basin for development of integrated water resources management methods). 2007. Final Report. Biobío River Basin. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), 19p.

Proyecto TWINBAS (Twinning European and third countries river basin for development of integrated water resources management methods), WP5. 2007. Pollution pressure and impact analysis. Biobío River Basin. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), 119p.

Proyecto TWINBAS (Twinning European and third countries river basin for development of integrated water resources management methods), WP6.2. 2007. Classification of Water Bodies Volume I: Characterisation. Biobío River Basin. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), 71p.

Proyecto TWINBAS (Twinning European and third countries river basin for development of integrated water resources management methods), D1.2. 2005. Stakeholder report. Biobío River Basin. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), 19 p.

Proyecto TWINBAS (Twinning European and third countries river basin for development of integrated water resources management methods), WP5. 2007. Pollution pressure and impact analysis. Biobío River Basin. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), 119 p.

Proyecto TWINBAS (Twinning European and third countries river basin for development of integrated water resources management methods), WP2. Appendix 2. 2007. Monitoring. Project co-funded by the European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), 26 p.

Proyecto TWINLATIN (Twinning European and Latin-American river basins for research enabling sustainable water resources management) WP.6. 2009 Pollution pressure and impact analysis. Project co-funded by European Commission within the Sixth Framework Programme (2002-2006), 284 p.

Proyecto TWINLATIN (Twinning European and third countries river basin for development of integrated water resources management methods), WP07. 2008. Classification of water bodies. Compilation of partner basin contributions. 163 p.

Proyecto TWINLATIN, WP06. 2008. Pollution pressures and impact analysis. 24p.

Proyectos y Estudios Mineros. 2009. La minera Minsur descarta uso de aguas de río chileno. Disponible en: [http://www.estudiosmineros.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=3900:la-minera-minsur-descarta-uso-de-aguas-de-rio-chileno&catid=9:notmineras&Itemid=7](http://www.estudiosmineros.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3900:la-minera-minsur-descarta-uso-de-aguas-de-rio-chileno&catid=9:notmineras&Itemid=7) Leído el 27 de abril de 2009.

Quiroga, R. 2001. Indicadores de Sostenibilidad Ambiental y de Desarrollo Sostenible: Estado de arte y perspectivas. CEPAL, Serie manuales 16, 122 p. Disponible en: <http://www.eclac.cl/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/8/9708/P9708.xml&xsl=/tpl/p9f.xsl&base=/dmaah/tpl/top-bottom.xslt> Leído el 30 Julio 2009.

Richter B.D., J.V. Baumgartner, J. Powell and D.P. Braun. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conserv. Biol.* 10(4):1163-1174.

Richter, B.D., J.V. Baumgartner, R. Wigington and D.P. Braun. 1997. How much water does a river need?. *Freshwater Biology*, 37(1):231-249.

Riestra, F. y G. Benavides. 2004. Caudales ecológicos: perspectivas desde la Dirección General de Aguas. Disponible en: [http://www.aic.cl/pdf/1017%20DGA\\_Q%20ecol%20aic%202004%20\(Gonzalo%20Benavides\).pdf](http://www.aic.cl/pdf/1017%20DGA_Q%20ecol%20aic%202004%20(Gonzalo%20Benavides).pdf) Leído el 20 de febrero de 2009.

Rivas, C. y R. Sapag. 2008. Especial: el Agua. *Revista Capital, Chile*, 226: 36-42.



Rivera, A., G. Casassa and C. Acuña. 2002. Mediciones de espesor en glaciares de Chile centro-sur. *Inv. Geogr. Chile*, 35:67-100.

Rivero, M. Sin año. Reutilización industrial de aguas depuradas en Cantabria. Comunicación Técnica Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), Universidad de Cantabria, España. Disponible en: <http://www.conama8.org/modulodocumentos/documentos/CTs/CT202.pdf> Leído el 1 de junio de 2009.

Romano D. and M. Leporati. 2002. The distributive impact of the water market in Chile: A case study in Limari Province, 1981-1997. *Quarterly Journal of International Agriculture*, 41(2), 41-58.

Romero, H., P. Smith and A. Vásquez. 2008. Global Changes and Economic Globalization in the Andes. Challenges for Developing Nations. *Actas COST Strategic Workshop, Series Alpine space - man and Environment* vol 7, pp. 69-90. Disponible en <http://captura.uchile.cl/dspace/bitstream/2250/5678/1/romero.pdf> Leído el 5 de junio de 2009.

Romero, L., H. Alonso, P. Campano, L. Fanfani, R. Cidu, C. Dadea, T. Keegan, I. Thornton and M. Farago. 2003. Arsenic enrichment in waters and sediments of the rio Loa (Second Region, Chile). *Applied Geochemistry*, 18: 1399-1416.

Rumelhart, D.E., B. Widrow and M.A. Lehr. 1994. The basic ideas in neural networks. *Communications of the ACM*, 37(3):87-92.

Salas, J. 2004. Diagnóstico y clasificación de la calidad de agua del río Baker según objetivos de calidad. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 178 p.

Salas, J. 2004. Diagnóstico y clasificación de la calidad de agua del río Baker según objetivos de calidad. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 178 p.

Salgot, M. y A. Torrens. 2008. Capítulo 10: Tecnologías extensivas para la regeneración de aguas residuales. pp. 197-224. En: Barceló, D. (Ed). *Aguas continentales: gestión de recursos hídricos, tratamiento y calidad del agua*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), España. 277 p.

Salgot, M. y M. Folch. 2003. Capítulo 19: La reutilización de aguas residuales. pp. 212-223. En: Diaz, C. *et. al.* (Eds). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (RIPDA-CYTED) y Centro Interamericano de Recursos del Agua. Mexico. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/index.html#> Leído el 1 de junio de 2009.

Santibáñez, C. y J.P. Orrego. 2009. Hidroaysén, un proyecto industrial amenaza la Patagonia chilena. Campaña Patagonia Ríos Vivos, ONG Ecosistemas. Disponible en: <http://www.ecosistemas.cl/1776/article-85108.html> Leído el 23 de julio de 2009.

Schulze, K. 1995. Report of expert meeting for the preparation of an intercomparison of instruments and procedures for measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. World Meteorological Organization, Commission for Instruments and Methods of Observation. Geneva, Switzerland. 30 p.

Schuschny, A. y H. Soto. 2009. Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. CEPAL, Colección documentos de proyecto, 109 p. Disponible en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/7/36127/W255-2.pdf>. Leído el 20 de julio de 2009.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT. 2009. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales. Disponible en: <http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/index-sniarn.aspx>. Leído el 15 de julio de 2009.

Secretaría del Tratado Antártico (ATS). 2008. Sistema del Tratado Antártico. Disponible en: <http://www.ats.aq/s/ats.htm> Leído el 20 de abril de 2009.



Segnestam, L. 2000. Desarrollo de indicadores, lecciones aprendidas de América Central. CIAT, Proyecto CIAT - Banco Mundial - PNUMA. 50 p. Disponible en: [http://www.ciat.cgiar.org/indicators/pdf/Desarrollo\\_Completo.pdf](http://www.ciat.cgiar.org/indicators/pdf/Desarrollo_Completo.pdf) Leído el 05 de agosto de 2009.

Segovia, R. 2003. Reestructuración del sistema de clasificación de ecorregiones. Tesis Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 292 p.

Sen A. 1997. Mercados y libertades. Logros y limitaciones del mecanismo de mercado en el fomento de las libertades individuales. En: Sen, A. (Ed.). Bienestar, justicia y mercado. Editorial Paidós Ibérica, Barcelona, 160 p.

Senent, M., D. Martínez y J.M. Cortejosa. Sin año. El futuro de la desalación de aguas en España. Congreso Nacional Gestión del Agua en Cuencas Deficitarias. Área temática: usos del agua. Disponible en: <http://www.portalagua.com/docs/anexospdf/anexoestudiofuturodesalacion.doc> Leído el 12 de mayo de 2009.

SEREMI SALUD II Región. 1997. Informe final de la contingencia ambiental que afectara al río Loa y zonas de influencia en la Primera y Segunda región de Chile. Marzo, 1997, Antofagasta, Chile.

SILOB Chile. 2005. Estudio de línea base ambiental para el proyecto 'Entierro de línea Ossa 2 en el río Lluta'. Disponible en: <http://www.transredes.com/pdfs/MedioAmb/eeia/ResCruceRioLluta.pdf> Leído el 13 de mayo de 2009.

Simonovic, S.P. and D. Savic. 1989. Intelligent decision support and reservoir management and operations. Journal of Computing in Civil Engineering, 3(4):367-385.

Smolan, R. and J. Erwit. Sin año. Blue planet run. Earth Aware Editions, California. 239p. Disponible en: [http://blueplanetrun.org/the\\_book](http://blueplanetrun.org/the_book) Leído el 8 de julio de 2009.

Sommariva, C. and V.S.N. Syambabu. 2001. Increase in water production in UAE. Desalination, 138:173-179.

Sternier, T. 2002. Policy instruments for environmental and natural resource management. Resources for the Future, co-published with World Bank and Swedish International Development Cooperation Agency, Washington DC. 526 p.

Stuardo, J. y C. Valdovinos. 1989. Estuarios y lagunas costeras: ecosistemas importantes del Chile central. Amb. y Des., V(1): 107-115.

Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS. 1999. Análisis económico sobre el tratamiento de los Residuos Industriales Líquidos en Chile. SISS, División de Estudios y Normas. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/fulltext/analisisecon.pdf> Leído el 1 de junio de 2009.

Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS. 2008. Informe de cumplimiento de las normas DS 90/00 - DS 46/02, para el año 2008. Disponible en: <http://www.siss.cl/article-6051.html> Leído el 17 de mayo de 2008.

Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS. 2009. SISS da a conocer nivel de consumo de agua potable en el país. Disponible en [http://www.siss.cl/articles-7663\\_recurso\\_5.pdf](http://www.siss.cl/articles-7663_recurso_5.pdf) Leído el 19 de agosto de 2009.

Tah-Ben, H. and L. Pigford. 1989. Salt removal from water by continuous ion exchange using thermal regeneration. Industrial and Engineering Chemistry Research, 28(9):1345-1351.

Tapia, J. 1997. Evaluación de la contaminación por cromo en un sistema fluvial de Chile central: una propuesta para la disminución en su origen. Tesis Doctor en Ciencias Ambientales. Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, Concepción, 136 p.

Taylor, M.R., D.P. Loucks and P.N French. 1995. Quantifying policy reliability, resilience and vulnerability in IRAS. Disponible en: <http://www.enlib.cornell.edu/coe/dbl3/IRAS/iras1195.html> Leído el 12 de julio de 2009.



Third World Water Forum. 2003. 3rd World Water Forum. Disponible en: <http://www.waterforum.jp/worldwaterforum3/index.html> Leído el 26 de junio de 2009.

Thobani, M. 1995. Tradable property rights to water: How to improve water use and resolve water conflicts. Private Sector Viewpoint Note N° 34, Public Policy for the Private Sector Series, World Bank, Washington DC. 4 p.

Thornwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. The Geographical Review, 38:55-94.

Torres, A. y E. Acevedo. 2008. El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. IDESIA (Chile) 26(3):31-44.

U.S. Department of State, 2009. Sustainable development. Disponible en: <http://www.state.gov/g/oes/sus/> Leído el 15 de julio de 2009.

United Nations Development Programme, UNDP. 2005. China human development report. Chapter I: development and equity: the state of human development and the conceptual framework. UNDP and World Bank, Washington DC.

Universidad Austral de Chile y Dirección General de Aguas. 2000. Catastro y localización de usos públicos no extractivos o usos in situ del agua. S.I.T. N° 65. Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Austral de Chile, y Departamento de Planificación Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, MOP, Chile. 56 p.

Universidad Austral de Chile. 2004. Estudio sobre el origen sobre mortalidades y disminución poblacional de aves acuáticas en el Santuario de la Naturaleza Carlos Anwandter, en la provincia de Valdivia Informe final. Disponible en: [http://www.sinia.cl/1292/articles-31832\\_InformeFinal.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-31832_InformeFinal.pdf) Leído el 5 de junio de 2009.

Universidad Católica de Temuco. 2008. Informe Final. Evaluación ambiental en el río Mataquito. Disponible en: [http://www.conama.cl/portal/1301/articles-44336\\_InformeFinalRioMataquito.pdf](http://www.conama.cl/portal/1301/articles-44336_InformeFinalRioMataquito.pdf) Leído el 5 de junio de 2009.

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y Centro de Agricultura y Medio Ambiente, AGRIMED. 2008. Análisis de Vulnerabilidad del sector Silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático. Capítulo: Análisis de vulnerabilidad de los recursos hídricos de Chile frente a escenarios de cambio climático. CONAMA, ODEPA y FIA. 127 p.

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geofísica. 2006. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Informe Final. Texto. Comisión Nacional de Medio Ambiente, CONAMA. 63 p.

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias, Departamento de Ciencias Ecológicas, Laboratorio de Modelación Ecológica. 2008. Informe Final. Análisis de impacto económico y social de anteproyectos de norma secundarias de calidad, cuenca río Baker. Informe Final. MOP. 49 p.

Universidad de Chile. 2005. Informe final. Criterio de calidad de aguas o efluentes tratados para usos en riego. Disponible en: [http://www2.sag.gob.cl/biblioteca\\_digital/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_aguas/informe\\_final.pdf](http://www2.sag.gob.cl/biblioteca_digital/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_aguas/informe_final.pdf) Leído el 5 de junio de 2009.

Universidad Politécnica de Catalunya, UPC. 2008. Indicadores de eficiencia para la gestión sostenible del uso del agua. Cátedra UNESCO de sostenibilidad. Disponible en: <http://www.tecspar.org/Documentos/workshop%20%20Terrassa/02-07-02/08-APires.pdf> Leído el 2 de agosto de 2009.

Valdovinos, C. 2006. Humedales dulceacuícolas y biodiversidad. p. 104-124. En: Rojas, J., G. Azócar, M.D. Muñoz, C. Vega, A. Kindler y S. Kabisch (Eds.). Atlas social y ambiental del área metropolitana de Concepción. Región del Bío-Bío, Chile. Editorial Universidad de Concepción, Chile.



Valdovinos, C. y O. Parra. 2006. La cuenca del río Biobío: historia natural de un ecosistema de uso múltiple. Publicaciones Centro EULA, Concepción, 25p.

Valdovinos, C. y O. Parra. 2006. La cuenca del Río Biobío: historia natural de un ecosistema de uso múltiple. Publicaciones Centro EULA, Concepción, 25p.

Valero, A., J. Uche y L. Serra. 2001. La desalación como alternativa al PHN. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. Universidad de Zaragoza, España. 108 pp. Disponible en: <http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf> Leído el 12 de mayo de 2009.

Vaughan, D. and J. Spuoge. 2002. Risk estimation of collapse of the west Antarctic ice sheet. *Climatic Change*, 52:65-91.

Villalobos, P., C. Huenchuleo and R. Silva. 2007. Economic valuation of environmental services in forest of *Nothofagus alessandrii* (Ruil): an application of the choice experiment method, Región del Maule, VII Región, Chile. Tropentag 2007, University of Kassel-Witzenhausen and University of Göttingen, October 9-11. Conference on International Agricultural Research for Development.

Villate, J. 2007. Atlas de capacidad sustentadora potencial para el reino templado de Chile. Tesis Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. 102 p.

Wu, Y. and E. Drioli. 1989. The behaviour of membrane distillation of concentrated aqueous solution. *Water treatment* 4:399-415.

Yáñez N. 2008. La propiedad ancestral indígena sobre las aguas constituye dominio pleno. El caso de la comunidad lickanantay de Toconce. Presentación realizada en el Taller de Derechos de Agua Indígenas y de Usuarios Tradicionales, los Paradigmas para una Reforma de la Legislación de Aguas en Chile. Universidad de Chile, Facultad de Derecho. Disponible en: [https://www.u-cursos.cl/derecho/2008/2/D121T0774/8/material\\_alumnos/objeto/24234](https://www.u-cursos.cl/derecho/2008/2/D121T0774/8/material_alumnos/objeto/24234) Leído el 17 de mayo de 2009.

Yáñez, N. e I. Gentes. 2005. Derechos locales sobre las aguas en Chile: análisis jurídico y político para una estrategia de gestión pertinente en territorios indígenas. Resumen Ejecutivo. Proyecto WALIR, Water Law and Indigenous Rights, CEPAL, ECLAC. Disponible en: <http://www.eclac.cl/dnri/proyectos/walir/doc/walir52.pdf>. Leído el 4 de julio de 2009.

Zambra, D. 2009. Mineras sedientas. *Diario La Nación*, edición del domingo 23 de agosto de 2009. Disponible en: [http://lanacion.cl/prontus\\_noticias\\_v2/site/artic/20090822/pags/20090822221110.html](http://lanacion.cl/prontus_noticias_v2/site/artic/20090822/pags/20090822221110.html) Leído el 27 de agosto de 2009.





## Anexos

---





## ANEXO 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS EN ACUERDOS INTERNACIONALES

Basado en información disponible en la Biblioteca del Congreso nacional (BCN 2009c)

**Tratados.** Acuerdos internacionales suscritos entre Estados y regidos por el derecho internacional, jurídicamente vinculantes. Un tratado puede ser bilateral o multilateral: entre dos partes o entre más de dos partes.

La expresión Tratado, abarca todos los instrumentos vinculantes del derecho internacional, los cuales tienen características comunes, y se rigen por las mismas normas. En consecuencia, las convenciones, los acuerdos, los protocolos y los canjes de cartas o notas pueden todos ellos constituir tratados. Normalmente el término Tratado se utiliza para instrumentos de cierta importancia y solemnidad.

En Chile, la conducción de las relaciones internacionales del país son atribución exclusiva del Presidente de la República. El rol que se le asigna al Congreso Nacional en esta materia es aprobar o rechazar los tratados internacionales que el Presidente de la República ha negociado y suscrito. Para que obliguen al país, requieren la aprobación del Congreso Nacional.

La tramitación a que se somete un tratado internacional en Chile es la misma que la que se aplica a la tramitación de un proyecto de ley.

**Acuerdos internacionales.** La Convención de Viena de Derecho de los Tratados de 1969, utiliza ésta expresión para definir a los Tratados. Al mismo tiempo, la expresión Acuerdo Internacional, se refiere a aquellos acuerdos considerados menos formales, y que se ocupan de una gama más restringida de temas. Los acuerdos típicos están relacionados con la cooperación económica, cultural, científica y técnica.

**Convención.** En el siglo XIX el término Convención se empleaba regularmente para los acuerdos bilaterales, ahora se utiliza generalmente para los tratados multilaterales formales en el que participan un gran número de partes. Normalmente, los instrumentos negociados con los auspicios o aprobación de una organización internacional, se titulan convenciones.

**Protocolo.** En el contexto del derecho y la práctica de los tratados, tiene las mismas características jurídicas que un tratado. El término protocolo se usa a menudo para describir acuerdos de un carácter menos formal que los titulados tratado o convención. En general, un protocolo enmienda, complementa o aclara un tratado multilateral. Su ventaja es que, si bien está vinculado al acuerdo matriz, puede centrarse con mayor detalle en un aspecto determinado de ese acuerdo.

**Ratificación, aceptación, aprobación, y adhesión.** Acto internacional mediante el cual un Estado establece su consentimiento en obligarse por un tratado.



## **ANEXO 2: PARTICIPANTES DE LAS MESAS REGIONALES DE AGUA**

Dentro del sector público se encuentran (DGA, 2007b):

- Dirección General de Aguas.
- Dirección de Obras Hidráulicas.
- Dirección de Planeamiento.
- Dirección de Vialidad.
- Dirección de Obras Portuarias.
- Gobernación.
- Intendente.
- Seremi Agricultura.
- Comisión Nacional de Riego.
- Instituto de Desarrollo Agropecuario.
- Servicio Agrícola y Ganadero.
- Instituto de Investigación Agropecuaria.
- Comisión Nacional de Medio Ambiente.
- Corporación Nacional Forestal.
- Servicio Nacional de Turismo.
- Corporación de Fomento de la Producción.
- Ministerio de Bienes Nacionales.
- Municipalidades.
- Secretaría Regional de Planificación.
- Consejo Nacional de Desarrollo Indígena.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante.
- Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior.
- Servicio Nacional de Pesca.
- Servicio Nacional de Geología y Minería.

Dentro del sector privado y de comunidad, participan (DGA, 2007b):

- Organizaciones de usuarios de agua.
- Cámaras de la construcción.
- Empresas sanitarias.
- Comités y cooperativas de APR.
- Empresas generadoras de energía.
- Agroindustrias.
- Sector minero.
- Sociedad civil.
- Uniones y juntas de vecinos.
- Universidades.
- Organizaciones campesinas.
- Organizaciones no gubernamentales.
- Centros de investigación.



### ANEXO 3: MODELO PROPUESTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL.

Ecuación de Penman-Monteith

$$ET_o = \frac{\Delta \cdot (R_N - G) + 86,4 \cdot \rho \cdot C_p \frac{(e_s - e)}{r_a}}{\lambda \left[ \Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_c}{r_a} \right) \right]}$$

ET<sub>o</sub> Evapotranspiración potencial (mm/día)  
R<sub>N</sub> Radiación neta (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)  
G Flujo de calor al suelo (MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>)  
ρ Densidad de aire (kg m<sup>-3</sup>)

$$\rho = \frac{3,486 \cdot P_a}{(275 + T_a)}$$

C<sub>p</sub> Calor específico del aire a presión constante (1,0035 kJ kg<sup>-1</sup>).

Si la temperatura del aire es de 20 °C, λ = 2,45 MJ kg<sup>-1</sup> y para una presión atmosférica de 101 kPa, se tiene que

$$\lambda = 0,06734 \text{ kPa} / K$$

r<sub>a</sub> Es la resistencia aerodinámica (s/m), la cual se estima para una pradera de una altura h=0,12 m. En este caso se tiene que

$$r_a = \frac{208}{U_2}$$

Donde:

U<sub>2</sub> La velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)  
r<sub>c</sub> Resistencia de la cubierta (s/m)

$$r_c = \frac{2r_h}{IAF}$$

r<sub>c</sub> Resistencia estomático por unidad de área foliar  
IAF Índice de área foliar  
Δ Pendiente de la curva de presión de vapor de saturación

$$\Delta = \frac{5304}{T(K)^2} e^{\left( 21,3 - \frac{5304}{T(K)} \right)}$$

Empleando los valores correspondientes a una pradera de gramíneas y asumiendo G=0, para valores diarios ET<sub>o</sub> puede ser estimado simplificando la ecuación de Penman-Monteith, como

$$ET_o = \frac{\Delta \cdot R_N + 0,499(e_s - e)U_2}{2,45 \left[ \Delta + 0,06734 \cdot (1 + 0,332U_2) \right]}$$



## ANEXO 4: MÉTODO PROPUESTO DE ESTIMACIÓN DE LOS L-MOMENTOS

En primer lugar, es necesario definir regiones homogéneas de alguna variable hidrológica, respecto de las cuales es posible encontrar distribuciones de frecuencias. Estas regiones pueden ser obtenidas mediante métodos de agrupación por similitud, o más bien conocidos como análisis de conglomerados o de cluster. Debe compararse estos resultados con los ya conocidos en estudios anteriores, como clasificaciones climáticas, agroclimáticas o de ecorregiones. Las principales fuentes de información sobre los tipos de clima son la Dirección Meteorológica de Chile y la clasificación de ecorregiones de Chile, definida por las variedades específicas y generales de KÖPPEN (Gastó *et al.*, 1993; Villate, 2007; Segovia, 2003). Es necesario calcular, además, los Indicadores de Discordancia y Homogeneidad. El indicador de discordancia mide la similitud entre las distribuciones de frecuencia de las estaciones de cada conglomerado, visualizada en términos de los L-Momentos, detectando las estaciones que difieren significativamente del resto en función de las variables L-CV, L-Sesgo y L-Curtosis. Así se calculará el valor del indicador, el cual es comparado con un valor crítico que depende del número de estaciones de cada conglomerado. Para el cálculo del indicador de homogeneidad se utilizará el indicador H1 basado en L-CV, el cual presenta mayor poder discriminatorio (Hosking y Wallis 1997).

Las zonas homogéneas por variable hidrológica permiten optimizar el cálculo de las distribuciones de probabilidad teóricas que mejor se ajusten a cada combinación de eventos, con duraciones conocidas en el período de meses. Con esta función o funciones para cada zona homogénea, es posible calcular los cuantiles regionales y a nivel de estación, para diferentes probabilidades. Todo lo anterior es posible de realizar mediante el uso de códigos Fortran, que se basan en la metodología probabilística de los L-Momentos (Hosking 1990), y que están disponibles gratuitamente en Internet<sup>92</sup>.

Los L-Momentos se definen como combinaciones lineales de momentos de probabilidad ponderados (PWM). Se caracterizan por tener interpretaciones simples como medidas de localización, dispersión y forma, de los datos de la muestra o población (Hosking *et al.* 1985). Un estimador insesgado de los PWM (Landwehr *et al.* 1979) desarrollado para las primeras expresiones, son:

$$\hat{\beta}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{(N-i)}{(N-1)} X_i$$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-2} \frac{(N-i)(N-i-1)}{(N-1)(N-2)} X_i$$

$$\hat{\beta}_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-3} \frac{(N-i)(N-i-1)(N-i-2)}{(N-1)(N-2)(N-3)} X_i$$

<sup>92</sup> Disponible en: <http://www.research.ibm.com/people/h/hosking/lmoments.html>



En donde:

$\hat{\beta}_r$  = PWM de orden r

$N$  = Numero total de observaciones

$X_i$  = Elemento i-esimo de la serie

De las ecuaciones que relacionan los L-Momentos con los PWM se obtienen los L-Momentos muestrales (Hosking 1990), siendo los primeros cuatro L-Momentos:

$$\begin{aligned}l_1 &= \beta_0 \\l_2 &= 2\beta_1 - \beta_0 \\l_3 &= 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \\l_4 &= 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0\end{aligned}$$

El primer L-Momento es el promedio o una medida de localización. El segundo L-Momento es una medida de dispersión de los datos respecto a la media. Dividiendo L-Momentos de mayor orden por la medida de dispersión ( $l_2$ ) se obtiene las siguientes razones:

$$\tau_r = \frac{l_r}{l_2}$$

Estas razones son valores adimensionales, independientes de las unidades de medida de los datos.  $T_3$  corresponde a la medida del sesgo y  $T_4$  corresponde a la medida de la curtosis, denominados respectivamente L-sesgo y L-curtosis. El valor análogo del coeficiente de variación en los L-Momentos, denominado L-CV, esta definido por la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{l_2}{l_1}$$



## **ANEXO 5: ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS QUE PERMITEN VALORAR ECONÓMICAMENTE BIENES Y SERVICIOS INTANGIBLES PRESENTES EN ECOSISTEMAS HÍDRICOS**

Las principales herramientas de valoración económica de bienes y servicios ambientales de carácter intangible, son las **Técnicas de Preferencias Declaradas (TPD)**. En el caso de las TPD los valores económicos del bien y/o servicio en cuestión, son obtenidos a través de un enfoque con entrevistas directas y cuestionarios. Lo que se obtiene son declaraciones de preferencias económicas de los individuos en *mercados hipotéticos* para el bien o servicio a ser valorado (Bateman *et al.* 2002, Mitchell and Carson 1989, Pearce and Turner 1990).

### **Valoración Contingente:**

El método de Valoración Contingente es una técnica basada en entrevistas. Por medio del diseño de un cuestionario apropiado se describe un mercado hipotético donde el bien o servicio en cuestión puede ser transado. A una muestra representativa de personas se les pregunta directamente por su Disposición a Pagar (o a Aceptar) por un cambio hipotético en el nivel de provisión del bien o servicio. Los participantes, entonces, son asumidos como si se comportaran en un mercado real. Los participantes deben entonces elegir si y cuánto estarían dispuestos a pagar por el bien en cuestión. Así, las elecciones observadas son consideradas preferencias declaradas. Desde que ellas son obtenidas en formato monetario, expresiones individuales de preferencias, como "Disposición a Pagar" (DAP) pueden ser agregadas para inferir medidas de bienestar social. La DAP agregada es supuesta a ser equivalente a la utilidad que la comunidad deriva desde la provisión del bien.

En estos mercados hipotéticos los individuos no sólo pueden expresar sus preferencias a través de su DAP, sino también a través de su Disposición a Aceptar Compensación (DAC) por una disminución o daño en el bien ambiental. Si DAP o DAC es la medida apropiada para valorar cambios en los bienes y servicios ambientales, depende de la distribución de los derechos de propiedad del bien ambiental con respecto al *status quo* (Cerdeira *et al.* 2007).

Cabe mencionar que cuando se trata de bienes y servicios no transados en mercados, un adecuado formato de valoración no es trivial. Los bienes públicos no son exclusivos: los derechos a consumirlos o usarlos normalmente no están bien definidos ¿Cómo pueden entonces los bienes públicos ser integrados a un mercado hipotético? Respondiendo esta interrogante, establecer conciencia respecto de los derechos de propiedad es obligatorio en el diseño de cualquier entrevista de preferencias declaradas (Mitchell and Carson 1989). Además, la conducta estratégica conocida como "*free riding*" debe ser minimizada a través de un diseño adecuado del escenario de valoración.

Este enfoque basado en aplicación de entrevistas para estimar demanda por bienes públicos ha sido ampliamente usado en el campo de la economía ambiental y aceptado en el ámbito académico y político gubernamental. Existen más de 2000 estudios en la literatura, tanto en países desarrollados, como en vías de desarrollo y países pobres, que han aplicado el método para valorar bienes y servicios no transados en mercados. El



método debe ser aplicado con ciertas reglas propuestas por la National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA (Arrow *et al.* 2001).

El método de valoración contingente es el más flexible de todas las herramientas de valoración. Es aplicable a la mayoría de los bienes públicos y permite estimar valores de No Uso. Ha sido aplicado en Chile para valorar el servicio recreativo que proporcionan las áreas protegidas del Estado.

## **Análisis Conjoint (Experimentos de Elección)**

Los Análisis *Conjoint* están basados en la Teoría de Lancaster del Consumo Basado en Atributos (Lancaster 1966). Propone que los consumidores no tienen preferencias por bienes o servicios *per se*, sino que más bien por las características de estos bienes y servicios. En línea con esta idea, los Análisis *Conjoint* "descomponen" preferencias por un bien o servicio complejo hacia un pequeño número de componentes, cada uno de los cuales se refiere a características específicas (atributos) del bien o servicio en cuestión. Todos los atributos son cuantificados a través de un pequeño número de niveles.

Al igual que la Valoración Contingente, el método se aplica a través de un formato de cuestionario. Después de introducir el tópico de la entrevista de valoración, los atributos son presentados y exhaustivamente explicados a los participantes. En la parte crucial de un experimento de elección, los participantes son consultados a comparar tres escenarios, por ejemplo, de gestión del recurso hídrico (representados a través de cartas o tarjetas) mediante los cuales diferentes versiones del bien a valorar son representadas. Para obtener valores económicos, cada escenario incluye un *atributo monetario*. Si los escenarios representan en su totalidad mejoras respecto a la situación actual, el atributo monetario es diseñado como un costo adicional para el individuo a ser pagado cuando el escenario sea implementado (DAP). El escenario que representa la situación actual *status quo* no incluye costos adicionales. Los participantes son entonces consultados a seleccionar el escenario que les gustaría ver implementado, sujeto a restricciones personales de presupuesto. De este modo, la elección de la alternativa elegida es explicada por los niveles de los atributos incorporados, las características socioeconómicas del individuo y un factor de error que captura aquellos factores que afectan la elección de los individuos pero que no pueden ser observadas por el investigador directamente.

Finalmente, el investigador puede estimar cuáles atributos influyen la elección por un determinado escenario y el *ranking* implícito de los atributos. Si uno de los atributos es costo, la Disposición a Pagar *Marginal* puede ser calculada. Modelos derivados de la Teoría de Utilidad Aleatoria (Random Utility Theory), son usados para modelar la probabilidad de que un escenario sea elegido.

En Chile existen sólo dos estudios que han aplicado esta técnica para valorar servicios ambientales proporcionados por ecosistemas naturales. El primero de ellos consistió de una valoración económica de servicios de la diversidad biológica en isla Navarino XII Región (Cerdeira *et al.* 2007). El segundo estudio fue aplicado por Villalobos *et al.* (2007) quienes usaron los análisis *conjoint* para valorar servicios proporcionados por bosques de Ruil (*Nothofagus alessandrii*) en la Región del Maule. Corja y Calfucura (2007) proponen utilizar análisis *conjoint* para determinar la demanda por turismo de naturaleza en el área protegida marina Lafken Mapu Lahual, en la X Región. Estiman que



los entrevistados podrían ser requeridos a escoger dentro de un set de parques que pueden ser considerados sustitutos del área marina mencionada: el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales y el Parque Nacional Puyehue, todos en la Provincia de Osorno. El estudio, sin embargo, aún no ha sido llevado a cabo.

La desventaja de la técnica es que es extremadamente demandante en términos de su diseño y aplicación, así como también en el análisis econométrico.

Otro tipo de técnicas para valorar bienes y servicios intangibles son las **Técnicas de Preferencias Reveladas** (TPR). En éstas los valores económicos son obtenidos a través de la obtención de la **Disposición a Pagar** en un mercado convencional, por un bien o servicio determinado. Para llevar a cabo estas técnicas, se debe obtener información de mercado.

Algunas TPRs son:

- **Costo de Viaje:**

Puede ser utilizado para estimar los beneficios de la recreación proporcionados por un ecosistema hídrico. El método de Costo de Viaje considera los costos en los que incurren los individuos para visitar un sitio recreacional. Estos precios implícitos pueden ser usados para estimar el valor recreativo del sitio en cuestión.

El método ha sido ampliamente usado en áreas protegidas chilenas pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), para valorar el servicio recreativo proporcionado por estas áreas.

- **Utilidad aleatoria (*discrete choice*)**

Mientras el tradicional método de Costo de Viaje se enfoca en la elección del número de viajes que un individuo realiza en un año (elección continua, en inglés *continuous choice*), el Modelo de Utilidad Aleatoria, también conocido como modelo de Elección Discreta se enfoca en el otro extremo y se enfoca en la decisión de la elección de un individuo entre varios sitios recreacionales en un período determinado de tiempo (elección discreta).

Los individuos no son vistos como maximizadores de su bienestar a través de la elección del número de viajes que ellos planean hacer en un año, por ejemplo, sino que más bien eligiendo la alternativa que les reporta el mayor nivel de satisfacción. Cada alternativa (sitio recreacional) es descrita por un número determinado de características que son analizadas por el individuo, quien finalmente decidirá por aquella que le reporta mayor bienestar.



## **ANEXO 6: HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES DE APOYO A LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

El trabajo relacionado con la aplicación de herramientas informáticas destinadas a resolver distintos problemas del área de la hidrología y de la gestión de los sistemas hídricos se ha incrementado en la última década, prueba de ello son los numerosos sistemas de computación desarrollados para ayudar a los profesionales involucrados en la gestión de aguas en el diseño, planificación y explotación de un sistema hídrico.

A continuación se presenta una revisión general de la aplicación de herramientas de simulación actualmente operativas destinadas a resolver distintos problemas del área de la hidrología y de la gestión de los sistemas hídricos

### **SID (WMS)<sup>93</sup>**

Es un sistema destinado a la planificación en el manejo de sequías. SID está basado en una metodología en la cual el ambiente del sistema se usa en la evaluación y presentación gráfica de la información de los planes de manejo.

Usa un modelo de programación lineal para generar políticas de operación óptima, en función de numerosas experiencias anteriores. Estas políticas se introducen en el sistema y el usuario identifica cual es el grado de similitud entre la situación de sequía actual y un evento similar pasado.

### **REZES<sup>94</sup>**

Es un programa diseñado como herramienta para el análisis de embalses. El sistema formula el problema matemático del embalse mediante una descripción a través de expresiones algebraicas. En base a esto, el programa reconoce la formulación y selecciona el algoritmo más apropiado para resolver el problema. Después de la selección el programa asiste al usuario durante la ejecución del programa y en la interpretación de los resultados. Actualmente se pueden incluir hasta nueve embalses (dimensionamiento, planificación de operación, operación a tiempo real) y métodos de optimización (programación lineal y dinámica determinística) programación dinámica estocástica, cambio de restricciones y confiabilidad de la programación.

### **MHOES<sup>95</sup>**

Este sistema se ha desarrollado capturando algo de la experiencia de los ingenieros que programan el embalse Manitoba, en una base de conocimientos. El desarrollo comenzó con tres sistemas prototipos que actuarían como un pre y post-procesador inteligente para el programa EMMA (Energy Management and Maintenance Analysis). EMMA es un

---

<sup>93</sup> PALMER, R. N. y HOLMES, K. J. (1988). Operational Guidance During Droughts: Expert System Approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 114(6), 647-666.

<sup>94</sup> SIMONOVIC, S. P. y SAVIC, D. (1989) Intelligent Decision Support and Reservoir management and Operations *Journal of Computing in Civil Engineering* vol.3 No. 4

<sup>95</sup> NAGY, A., BURLISHEN, K. D., BURN, D. H. y SIMONOVIC, S. P. (1989): Expert System for Improving the operations Planning in Manitoba Hydro. *ASCE Speciality Conference, Water Resource Planning and Management Division*, Sacramento.



modelo de optimización usado para planificar la operación integral de generación hidráulica y térmica y líneas enlazadas.

### **OASIS**<sup>96</sup>

Es un sistema de simulación inteligente y asesor de operaciones. En la primera fase del proyecto, se ha desarrollado un prototipo para probar la aplicabilidad de la inteligencia artificial a la operación y manejo de los recursos hídricos. La segunda fase de OASIS siguió un plan estratégico de cinco años para desarrollar y desplegar un sistema de asesoramiento con una base de conocimientos de gran escala para la operación y manejo de agua a tiempo real.

### **RAISON**<sup>97</sup>

Es una herramienta donde interactúan bases de datos, modelos y GIS a través de un sistema inteligente. En éste modelo la lógica de inferencia y las técnicas de diseño interactivo se usan para realizar ambas operaciones fundamentales y resolver casos especiales y proveer una arquitectura de programación abierta de base de datos, modelos, GIS y Sistemas Expertos.

### **ILWIS**<sup>98</sup>

El sistema funciona acoplando datos de satélite y de terreno a un modelo y a una base de reglas en un GIS para evaluar la magnitud de la degradación ambiental en una extensa área de captación tropical. El GIS ha sido usado para varios modelos aproximados y aplicado aquí a la evaluación del riesgo de erosión-sedimentación con el objeto de determinar la presente y futura degradación de suelos y especialmente en las áreas fuente de los sedimentos. Con un modelo bien ajustado del mapa ecológico, se pueden producir escenarios que indiquen donde conviene trabajar para incrementar la producción agrícola (aguas arriba) y determinar las áreas de peligro de aluviones (aguas abajo).

Los múltiples escenarios de alternativas de manejo que se pueden graficar, permiten ayudar a los tomadores de decisión evaluando la interrelación entre la productividad económica y la degradación ambiental en toda la extensión del área de captación tropical analizada.

### **Smallworld GIS**<sup>99</sup>

Es la fusión de un poderoso manejador de datos, con gráficos interactivo y modelos de simulación sofisticados dentro de un simple sistema de información. Este sistema presenta una solución aproximada con orientación a objetos, en el contexto de la hidráulica ambiental.

<sup>96</sup> FLORIS, V. y GOFORTH, G. F. (1990) Planning the development of de OASIS advisory system Optim Resource Water Management *Proc ASCE 17th Nat1 Conf. Publ. by ASCE*, Boston Society of Civil Engineers Sect, Boston MA, USA p 288- 293

<sup>97</sup> LUND, J. R. y GUZMAN, J. (1999) Derived Operating Rules for Reservoirs in Series or in Parallel. *Journal of Water Resources Planning and Management* /May/June, pp. 143-153.

<sup>98</sup> LOUCKS, D. P. y DA COSTA, J. R. (1991). Decision support systems. *Water resources planning*. Ed. Springer-Verlag.

<sup>99</sup> RUMELHART, D. E., WIDROW, B. y LEHR, M. A. (1994). The basic ideas in neural networks. *Communications of the ACM* ,37, 3, . 87-92.



Los componentes claves son el GIS orientado a objetos Smallworld, modelos de elementos finitos de fluidos y transporte, y tipos de objetos especiales necesarios para incorporar las herramientas de simulación de elementos finitos en la estructura del GIS.

Un primer prototipo de este sistema de Información integrado fue desarrollado para evaluar riesgo y planes de restauración de sedimentos contaminantes en ríos, lagos y embalses.

### **AQUARIUS**<sup>100</sup>

Es un sistema orientado a la distribución temporal y espacial de agua entre los usuarios en una cuenca hidrográfica. La versión actual del modelo esta dirigida a un criterio de eficiencia económica operacional que permite la redistribución del agua hasta que los retornos marginales netos en todos los usos sean iguales, esto es, hasta que sea alcanzada una condición de Pareto óptima.

Esto se logra examinando en forma sistemática (usando optimización no lineal) la factibilidad de redistribuir los valores marginales o no utilizados de almacenamiento y descargas entre los usos alternativos. Debido a que los componentes del sistema pueden interpretarse como objetos de una red de flujo en la cual ellos interactúan, el modelo considera cada componente del sistema hídrico como un nodo equivalente o un enlace en el entorno de programación utilizando un lenguaje de programación orientado a objeto (C++). Este modelo no permite simular las reglas de distribución existentes ni las prioridades de uso.

### **IRAS**<sup>101</sup>

O *Interactive River and Acuífer Simulation*. Este modelo puede simular escurrimientos y almacenamientos de agua, calidad de agua, y energía hidroeléctrica consumida y producida por un sistema de embalses superficiales y subterráneos interdependientes. Posee una interfaz gráfica que permite al usuario introducir datos, operar el modelo, producir y visualizar gráficas de series de tiempo y análisis estadístico de los resultados de la simulación.

También permite al usuario definir y cuantificar la vulnerabilidad, resiliencia y ocurrencia de fallo del sistema de aguas modelado. Por lo tanto IRAS permite ayudar a identificar el rango y probabilidad de variados impactos asociados con una política de operación diseñada para un sistema particular.

### **AQUATOOL**<sup>102</sup>

Es un sistema formado por diversas unidades de control: SIMWIN, OPTIWIN y AQUIVAL, desarrollado en el Departamento de Ing. Hidráulica de la Universidad Politécnica de Valencia. La unidad SIMWIN, es una unidad de diseño gráfico específico para simulación, tiene un módulo de análisis gráfico de resultados, un módulo que contiene el modelo

<sup>100</sup> DIAZ, G. E. y BROWN, T. (1997) AQUARIUS: A Modeling System for River Basin Water Allocation. *USDA Forest Service. General Technical Report RMGTR- 299 /September*.

<sup>101</sup> TAYLOR, M. R., LOUCKS, D. P. y FRENCH, P. N. (1995) Quantifying Policy Reliability, resilience and Vulnerability in IRAS. <http://www.englib.cornell.edu/coe/dbl3/IRAS/iras1195.html>

<sup>102</sup> ANDREU, J., CAPILLA, J. y SANCHIS, E. (1996) AQUATOOL, a generalized decision support system for water resources planning and operational management. *Journal of Hydrology*, 117(96), 269-291.



matemático de simulación de la gestión: SIMGES que permite desarrollar modelos de simulación de la gestión de cuencas con múltiples embalses, acuíferos, demandas e infraestructuras de transporte, útiles en la etapa de planificación del sistema hídrico.



## **ANEXO 7: APORTES CONCEPTUALES A LA ELABORACIÓN DE UNA POLÍTICA**

Una Política intenta siempre hacerse cargo de un problema o de una necesidad detectada. Los problemas o necesidades a que se hace referencia son de índole compleja y de largo plazo. Esto implica que son situaciones que no pueden tener solución o desarrollo mediante aplicación de acciones simples. Más aún se trata de condiciones que pueden tener diversas formas de conducirse. Lo que intenta la Política es fijar una determinada perspectiva de acción. Al alero de esta perspectiva, se establecen las distintas estrategias que se orientan bajo la particular mirada de la Política diseñada. De este modo, los problemas o necesidades simples y de corto plazo, no son materia de políticas, ya que su solución o desarrollo, aunque puede tener variadas formas de diseñarse y ejecutarse, no tiene repercusiones sistémicas. Esto implica que, cualquiera sea la forma de darle solución, no compromete el normal funcionamiento del sistema que lo contiene.

Debido a que una política necesariamente debe asumir una determinada forma de abordar la situación a resolver o a desarrollar, de algún modo se compromete con una orientación ideológica, en el más amplio sentido de la palabra. Es por esta razón, y como un modo de transparentar esta situación, que es fundamental el enunciado de los Principios Orientadores. Estos principios deben ser muy específicos, evitando las generalidades. Esto es un aspecto de gran importancia, puesto las acciones se deben evaluar teniendo en cuenta los principios rectores. Es así que las acciones no pueden ser criticadas bajo otro planteamiento o perspectiva, más que el declarado. En ese caso, lo que debe ser enjuiciada es la Política y no las acciones que de ella se derivan.

### **Pasos metodológicos en la elaboración de una Política**

#### **Principios Rectores**

Como se señaló anteriormente, estos principios deben fijar con mucha precisión la orientación que regirá en el diseño de las propuestas de acción y en el estudio de la situación. Muchos de los principios declarados deben ser más que simples enunciados. A modo de ejemplo, cuando se declara como principio la "sustentabilidad", debe precisarse con mucha exactitud, qué se entiende por este término y de qué forma se abordará. Por lo tanto, no basta con un listado de principios. Se debe hacer un esfuerzo de máxima precisión, puesto que estos principios deben orientar el estudio y por supuesto los lineamientos de acción.

#### **Justificación o Estudio del Problema**

El muy importante que el estudio aporte suficientes antecedentes, como para reconocer la existencia del problema que pretende ser abordado, ya que debe ser percibido como tal, por parte del conglomerado social involucrado. Las Políticas se deben insertar bajo el concepto de la gobernabilidad, por lo que su generación debe basarse en los mismos principios que se establecen para ésta. Por esta razón, la existencia del problema o la real necesidad de lo que se intenta levantar, debe ser parte de las dificultades o reivindicaciones que un conglomerado social percibe y siente.



Para este estudio es relevante tomar en cuenta los siguientes pasos en la descripción:

**Gravitación:** Es necesario destacar y analizar la gravedad del problema a tratar y lo relevante de lograr su solución.

**Extensión:** La descripción debe precisar muy bien la extensión o dimensión territorial del problema. Esto implica reconocer no sólo el área específica donde se generará la actuación, sino que sus derivaciones de corto y largo plazo y externalidades que se manifiestan o se manifestarán más allá del territorio de acción, por efecto del problema a tratar.

**Duración:** Siempre los asuntos que competen al diseño de una Política son de largo o, al menos, mediano alcance. No obstante, hay problemas que pueden tener un desarrollo de índole permanente, como por ejemplo, una Política de protección de los recursos pesqueros. En este caso el problema podrá tener distintas manifestaciones a lo largo del tiempo, pero nunca podrá darse por superado. En otros casos, por ejemplo, una Política de desarrollo de infraestructura vial, podrá tener una finalización, marcada por un determinado hito.

**Consecuencias:** Se deben describir con el máximo detalle los posibles efectos que pueden derivarse de la presencia del problema. Estas consecuencias no sólo deben provenir de los estudios con contenido científico-técnico, sino que es necesario hacer también proyecciones de índole cualitativas, las que lógicamente serán motivo de monitoreo durante el desarrollo y puesta en práctica de la política.

**Factores externos:** Corresponde a un estudio de contexto, abordando aspectos que están fuera del territorio, pero que pueden estar actuando o actuarán a futuro, ya sea incrementando los factores de riesgo o reduciéndolos.

**Actores involucrados:** Se requiere reconocer todos los actores involucrados en forma directa e indirecta. En esta descripción es muy relevante describir el modo en que se vinculan con el problema y con la posible solución.

### **Propósitos (Objetivos de la Política)**

La declaración del o los propósito(s) de la política es una tarea fundamental, ya que debe recoger el fin último de la acción que se proponga. Los objetivos de acción en la puesta en marcha de la Política deben ser siempre cotejados respecto de los Propósitos declarados. Así también, el control y evaluación debe hacerse en la perspectiva de éstos. Los Propósitos corresponden al enunciado del espíritu de la acción. No obstante, deben ser precisados y especificados lo máximo posible, ya que deben supeditarse y responder a los principios declarados.

### **Declaración de Supuestos**

Los supuestos son aquellas situaciones necesarias y suficientes para el desarrollo de la Política (incluido el propio logro de los propósitos), que están de alguna forma fuera del control de los responsables e involucrados. Es necesario un estudio acabado de estas condiciones, descubrir el modo de acción, la dinámica dentro del sistema y los



mecanismos que la intervienen. Un ejemplo puede ser la promulgación de una Ley que le de consistencia a la acción. Lógicamente la existencia de esta Ley no es responsabilidad de quienes diseñan la Política, pero es condición necesaria. No obstante, debe conocerse con el mayor detalle posible las reales perspectivas al respecto: el equilibrio de fuerzas políticas, el impulso de parte del gobierno, la atención de la ciudadanía, el papel de los medios de comunicación, etc.

### **Estrategia o curso de acción**

La Política tiene su expresión práctica en la Estrategia o el diseño del curso de acción. Es a través de este mecanismo que la Política se manifiesta en el territorio. El curso de acción podría contener dos o más Estrategias de índole sectorial, pero que obedecen a una Estrategia central o global.

Para la elaboración de la Estrategia se contemplan las siguientes cinco etapas básicas, las que se detallan a continuación.

### ***Elaboración y Definición de Objetivos***

La estrategia debe contener una serie de objetivos supeditados a un Objetivo General o Propósito de la Estrategia. Ejemplificando, podría darse la siguiente situación que se describe a continuación: Los Propósitos de la Política podrían ser la conservación del recurso hídrico, la participación en la gestión del agua, el uso eficiente, y el desarrollo económico y social. Bajo esta declaración, se podría proponer la Gestión Integrada del recurso hídrico, como Objetivo General o Propósito de la Estrategia, al que deben supeditarse una serie de Objetivos Específicos.

La definición de los objetivos es una tarea fundamental en el diseño de la estrategia, ya que son los elementos orientadores que guían a los actores. Se crean a partir de la situación de origen que se pretende intervenir o modificar. Esta característica implica que la condición de base está siempre variando. Por lo tanto, se puede decir que los objetivos son por definición dinámicos y desde ese punto de vista, pueden perder vigencia y significado. De acuerdo a lo señalado, deben ser permanentemente revisados y contrastados con el Propósito.

Es muy importante tener en cuenta las siguientes consideraciones al momento de elaborar los Objetivos:

- **Realismo:** La situación futura que se plantee debe tener en cuenta la situación del territorio, las condiciones externas o de contexto, los aspectos relativos a la estabilidad económica y social y las condiciones culturales existentes. Esta característica es importante también por otros factores, ya que es preferible alcanzar pequeños logros en tiempos razonables, que arriesgar un fracaso de un objetivo de gran envergadura, ya que esto tiene consecuencias en la credibilidad de las Políticas, lo que puede generar efectos nefastos en las acciones futuras.
- **Forma de medición:** El Objetivo debe contemplar una forma de medir el grado de satisfacción o el umbral de aprobación. Puede que el enunciado no esté



referido exactamente a este punto, pero debe ser diseñado pensando en el modo de medir y calcular su nivel de cumplimiento.

- Redacción: Deben ser absolutamente claros, redactados en forma precisa y de muy fácil comprensión. El objetivo debe ser comprendido a la sola lectura, sin necesidad de ninguna explicación complementaria. Es preferible ser lo más sintético posible, sin que por ello implique sacrificar su facilidad de comprensión.
- Visión desde abajo y desde arriba: En la visión "desde abajo", el objetivo debe tratar de reflejar un problema sentido como tal, de modo que genere involucramiento y compromiso por parte de los actores. La visión "desde arriba", debe cuidar la coherencia con las políticas vigentes, tomando en cuenta las restricciones y capacidades. En este sentido, el objetivo debe tratar de acomodarse lo mejor posible a la condición dada, de tipo superestructural.

Los objetivos pueden diferenciarse en dos categorías:

- Objetivos de Desarrollo: Corresponden a aquellos que contribuyen directamente a resolver el problema diagnosticado, desde la perspectiva del desarrollo.
- Objetivo de procedimiento: Son los que están más relacionados con los propósitos de la Política, no asociados directamente a las líneas de desarrollo. Son aquellos que hacen cumplir los principios. Por ejemplo objetivos que tienen que ver con conseguir la participación ciudadana o la realización de mesas de negociación, etc, que lógicamente contribuyen a los objetivos de desarrollo, pero desde la perspectiva declarada en los principios.

Deben cuidarse ambos tipos de objetivos, ya que finalmente hay que responsabilizarse tanto por la solución a los problemas detectados, como por la forma de alcanzar esta solución.

La definición de los Objetivos puede hacerse mediante diversos procedimientos, algunos de los cuales se enuncian a continuación:

- Método de Análisis FODA: El éxito de este método depende de la convocatoria y participación activa de los actores.
- Método Analítico: Los objetivos se generan a partir del desarrollo de un pensamiento analítico – lógico. Su éxito depende mucho de la calidad del diagnóstico. Tienen relevancia al definir los objetivos de inicio, pero es un método poco efectivo para la redefinición de los objetivos iniciales, ya que depende mucho de la etapa de diagnóstico, cuya base real se está modificando al mismo tiempo.
- Método del árbol de problemas: Un árbol de problemas es una secuencia concatenada e interrelacionada de causas y efectos que van conduciendo a causas comunes y de orden superior. Mediante la construcción de este esquema ramificado, es posible construir el "árbol de soluciones", que corresponde al camino que lleva a la solución de los problemas detectados, de donde se deducen los objetivos.
- Método de Análisis Sistémico: Implica construir un modelo que represente la situación en forma de un sistema, donde se contemplen los diversos procesos que generan los cambios en el estado y condición de los objetos constituyentes del sistema. El modelo debe representar simplificada la dinámica del territorio donde se actuará, incluyendo los factores humanos, institucionales y de orden bio-físico. El modelo posibilita detectar los procesos que deben ser



activados o neutralizados y las entradas que los activan, descubriendo de esa forma los objetivos a definir.

Todos estos métodos tienen ventajas y desventajas, lo que hace aconsejable aplicarlos en forma conjunta.

### **Planificación**

La planificación corresponde al diseño de los pasos coordinados que conducen al logro de los propósitos declarados. Tanto el proceso de Planificación, como la Planificación misma, pueden diferenciarse en categorías:

- **Planificación Basal:** Corresponde a la elaboración del Plan General Básico, el cual contiene determinados procedimientos que secuencial e interrelacionadamente conducen al logro de los objetivos propuestos. El proceso de planificación puede realizarse mediante cualquiera o una combinación de los métodos señalados anteriormente para la definición de los Objetivos. Corresponde a una serie de enunciados de acción, con una lógica explicativa y una secuencia temporal coordinada.
- **Planificación Específica:** Cada plano de acción debe contener un Plan específico, que le otorgue consistencia y efectividad al enunciado básico. Una combinación del Método de Análisis FODA y Análisis Sistemico es ideal como aporte al desarrollo de esta etapa.
- **Planificación Transversal o Sinérgica:** Luego de definir los planos de acción y los procedimientos específicos, es muy importante investigar acerca de las sinergias positivas y negativas, producto de la puesta en actividad del Plan. Es importante identificar éstas, para programar acciones que supriman las negativas y potencien o aseguren la presencia de las positivas. De este modo, cada actividad programada puede incrementar su eficacia y ahorrar esfuerzos y recursos invertidos. Para el estudio de este Plan es fundamental contar con un Modelo que represente la dinámica del Sistema

**Componentes del Plan Estratégico:** Además de presentar el esquema de acción general, específico y sinérgico, la planificación debe especificar los Componentes del plan, que corresponden a los productos o servicios directos o específicos que se generarán o modificarán, los que pueden clasificarse en los siguientes:

- **Tangibles:** Corresponde a los elementos materiales que incorpora o contempla el Plan, tales como equipamiento informático, catastros, encuestas de opinión, movilización, etc.
- **Intangibles:** Se refiere a los servicios que se movilizan. Los más comunes son los que corresponden a los instrumentos de gestión ambiental. Dentro de éstos, están los Jurídicos, que son aquellos que se traducen en leyes, decretos, resoluciones, tratados, etc. Los instrumentos Económicos están relacionados con la implementación de multas o incentivos. Finalmente, los instrumentos técnicos se refieren a la generación de normas de calidad o emisión, planes de manejo, etc.



## **Organización**

La organización del Plan es una Etapa operativa de la Estrategia, es decir, su función es crear las condiciones para la ejecución y su diseño es clave para el adecuado logro de los objetivos. Consiste en crear la organización que soporta la estrategia, es decir, crear instancias o apoyarse en las ya creadas (instituciones, empresas, organizaciones privadas, etc). Se deben establecer las conexiones adecuadas, las instancias de coordinación, los niveles jerárquicos, responsables y financiamiento. En esta etapa se diseña la Carta Gantt definitiva y pormenorizada. La organización de la estrategia es una tarea que se desarrolla permanentemente, ya que el actuar del curso de acción va generando nuevas condiciones y afiatamientos, dados por el ejercicio de la actividad. También pueden generarse conexiones negativas, rechazos, actos formales sin compromiso, etc. Por todo esto, la organización debe considerarse una estructura dinámica en permanente cambio, por lo que su diseño debe incorporar la flexibilidad como virtud imprescindible.

## **Control**

La estrategia debe tener un eficiente y vigilante control, el que puede diferenciarse en dos tipos:

- Control de procesos: El control de procesos debe identificar elementos o condiciones claves que pueden dar cuenta del adecuado desarrollo y funcionamiento de los procesos que son parte de la Planificación.
- Control de objetivos: Debe también elaborarse un sistema de control del cumplimiento de objetivos. Es importante en esto diferenciar etapas en el desarrollo que lleva al cumplimiento del objetivo. Estas etapas deben ser adecuadamente identificadas, con sentido práctico y con el mejor conocimiento de la dinámica del sistema, de modo que la etapa identificada corresponda a un verdadero hito en la secuencia de cumplimiento.

Es importante el diseño de indicadores en cada caso, especialmente en aquellos controles de procesos complejos.

## **Evaluación**

La evaluación consiste en establecer los umbrales de aprobación y los niveles de cumplimiento, según una jerarquización y escala que refleje convenientemente los requerimientos en cada caso. También debe diseñarse para la evaluación del desempeño de los procesos y para el cumplimiento de los objetivos diferenciados por etapas.

Finalmente, es muy importante destacar que el diseño de la Política y su Estrategia deben contemplar un aspecto crítico en todo el desarrollo del proceso, correspondiente a la flexibilidad o adaptación dinámica a los cambios que se espera se generen. Una Política cerrada o una Estrategia rígida, por muy bien elaborada y por muchos estudios previos realizados, no asegura un buen pronóstico. Al contrario, es muy probable que fracase. Es por ello fundamental realizar el diseño con la premisa señalada, incorporando la dinámica propia del territorio.



## ANEXO 8: MINUTAS DE REUNIONES

### 1. Reunión 20 de marzo

#### Minuta de Reunión N° 1

Fecha : 20 de marzo de 2009.

Citados : Representantes de la contraparte de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y profesionales presentados en propuesta técnica del proyecto.

Presentes :

- Proyecto: Rodrigo Fuster (jefe de proyecto), Jaime Hernández (consultor operativo), Claudia Cerda (consultora operativa), Meliza González (asistente), Gloria Lillo (asistente).
- Contraparte BCN: Verónica Kulczewski, Iván Couso, Raimundo Roberts.

Ausentes : Luís González (consultor operativo), Luís Morales (consultor experto), Cristian Escobar (asistente).

Objetivo de la reunión: Presentación oficial de los profesionales del proyecto a la contraparte de la Biblioteca del Congreso Nacional y aclaración de dudas.

#### **Tema 1: Otros proyectos de la BCN.**

Discusión: Verónica Kulczewski da cuenta de otro proyecto financiado por fondos del Banco Internacional de Desarrollo (BID) y BCN, en temas de energías renovables, adjudicado por la Universidad Diego Portales.

Acción: Posible reunión con responsables del proyecto para coordinar temas comunes.

Responsable(s): Contraparte BCN.

#### **Tema 2: Información que se necesita por parte de BCN para primera etapa del proyecto.**

Discusión: La principal preocupación se centra en la actividad 1.4, donde el proyecto compromete la revisión de documentos proporcionados por la BCN y/o por las Comisiones de "Minería y Energía", "Agricultura, Silvicultura y Desarrollo Rural", "Obras Públicas" y "Medio Ambiente y Bienes Nacionales", documentos que la contraparte desconoce por el momento.

Acción: La contraparte acuerda revisar entre sus archivos documentos que ellos consideren prudente incluir y consultar con parlamentarios sobre documentos de interés para la investigación.

Responsable(s): Contraparte BCN.

#### **Tema 3: Fusión de actividades 1.3 y 1.4**

Discusión: Considerando el tema anterior, existe la posibilidad de no recibir



respuesta de los parlamentarios (dado su escaso tiempo), y así mismo la contraparte no está segura de tener documentos que ameriten la realización de la actividad 1.4.

Acción: Por lo tanto se propone, en caso de no tener documentación suficiente para la ejecución de la actividad 1.4, fusionar esta última con la actividad 1.3 en que se hará un análisis y sistematización de investigaciones y estudios desarrollados sobre la GIRH, incluyendo también los documentos que la contraparte estime conveniente.

Responsable(s): Rodrigo Fuster, Gloria Lillo.

**Tema 4: Adquisición de información para próximas etapas en instituciones públicas.**

Discusión: El Sr. Jaime Hernández plantea la necesidad de contar con información para próximas etapas (especialmente información cartográfica) que se encontraría tanto en la BCN como en otras instituciones públicas, para lo cual la BCN tiene convenio con instituciones como la Dirección General de Aguas (DGA) e Instituto Geográfico Militar (IGM) entre otros.

Acción: Los trámites para acceder a la información que se requiera de dichas instituciones se puede realizar a medida que avance el proyecto.

Responsable(s): Rodrigo Fuster (requerir información), contraparte BCN (tramitar el acceso).

**Encargado de acta:**

Gloria Lillo Ortega.

Investigador Responsable

Rodrigo Fuster G.

**2. Reunión 6 de abril de 2009**

**Minuta de Reunión N° 2**

Fecha: 06 de abril de 2009.

Citados: Representantes de la contraparte de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y responsable del proyecto.

Presentes:

- BCN: Verónica Kulczewski, Raimundo Roberts.
- Proyecto: Rodrigo Fuster (jefe de proyecto), Meliza González (asistente)

Objetivos de la reunión:

Consensuar el cronograma de actividades del proyecto en conjunto con la contraparte de la BCN.

Gestionar el desarrollo de la primera reunión con los presidentes de las comisiones del congreso.

Acordar aquellos documentos de interés de la contraparte para ser incluidos en el primer informe de avance.



## Contenido de la reunión:

### **Tema 1: Consensuar el cronograma de actividades del proyecto en conjunto con la contraparte de la BCN**

**Discusión:** La contraparte señala que no hay inconveniente con las fechas planteadas en el cronograma de actividades ni con las actividades propuestas por el equipo ejecutor de este proyecto.

**Acción:** El equipo ejecutor se compromete a reenviar a modo de confirmación la última carta Gantt ajustada a la fecha de inicio de 16 de marzo que fue incluida en el contrato. Se conversa la posibilidad de tener alrededor de seis reuniones ejecutivas con la contraparte durante la elaboración del proyecto, para ir discutiendo el trabajo realizado y los pasos a seguir. La contraparte indica que están siempre dispuestos a reunirse con el equipo, las veces que sea necesario.

**Responsable(s):** Rodrigo Fuster.

### **Tema 2: Gestionar el desarrollo de la primera reunión con los presidentes de las comisiones del congreso**

**Discusión:** La contraparte informa que los nuevos presidentes de las diferentes comisiones del Congreso ya se encuentran casi completamente confirmados, y que se podrían informar vía correo electrónico el martes 14 de abril. Indica también que en estas reuniones debieran estar presentes los presidentes salientes de cada comisión.

Se pide que para la Presentación Inicial se tenga una visión sobre el estado general de las aguas en Chile y en el mundo, un estado del arte.

**Acción:** Se informará de los nuevos presidentes confirmados el martes 14 de abril vía correo electrónico.

Se intentará concertar reuniones con los presidentes el entre el lunes 20 y el miércoles 22 de abril, en Valparaíso, lo que constituiría la instancia para la Presentación Inicial del proyecto.

La contraparte también solicita programar una reunión con el equipo de investigación de la Universidad Diego Portales, en el proyecto de energías renovables también financiado por el BID, cita que sería en fechas más avanzadas del proyecto.

**Responsable(s):** Contraparte BCN.

### **Tema 3: Acordar aquellos documentos de interés de la contraparte para ser incluidos en el primer informe de avance**

**Discusión:** La contraparte señala documentos específicos y temas que deben incluirse en el estudio. Dentro de los documentos, se encuentran:

- Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas, elaborada por CONAMA. Dentro de la revisión se solicita hacer hincapié en qué cuencas eligieron para el estudio, y por qué.
- Análisis de estado de recursos hídricos versus la petición de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas que se



acogen a la ley especial que no permite su rechazo, elaborado por la DGA.

- Proyecto de investigación de la Universidad Federico Santa María sobre realidad ampliada de percepción remota submarina, realizándose en colaboración con la Armada de Estados Unidos.

Dentro de los temas a tratar, se encuentran:

- Impacto de la actividad minera y forestal sobre el recurso hídrico. Rodrigo Fuster indica que este tipo de información, por las características de la investigación que se necesita realizar, estará disponible para el segundo informe de avance.
- Estudios realizados por otras universidades o centros de investigación. Se pide contemplar las investigaciones que el EULA, de la Universidad de Concepción ha realizado sobre la cuenca del Bío Bío; investigaciones realizadas por la Universidad Austral; investigaciones realizadas por el Instituto Antártico; proyecto de investigación de la Universidad Católica, en conjunto con (probablemente) el Gobierno Británico, el que se encuentra en desarrollo actualmente; en general, ver los estudios sobre el tema de los glaciares y de los hielos Antárticos. Se menciona especial preocupación por el posible interés de Argentina de acceder al Océano Pacífico a través de lagos binacionales, y de los campos de hielo.
- En particular, estudios realizados por el Centro de Estudios Científicos (CECS, Gino Casassa) sobre glaciares. Se da cuenta de un método para medir hielo a través de radares. Ver éste y otros métodos de medición que se estén utilizando. Saber cuánto y qué es lo que se conoce sobre glaciares de Chile actualmente. Rodrigo Fuster comenta que dentro de las actividades del proyecto se encuentra la inclusión de percepción remota para apoyar la gestión del recurso hídrico.

Acción: Revisar los documentos y las áreas solicitadas por la contraparte.  
Responsable(s): Equipo investigador del proyecto.

**Encargada de acta:**

Meliza González Cáceres (S).

Investigador Responsable

Rodrigo Fuster G.

**3. Fecha: 18 de mayo de 2009.**

**Minuta de Reunión N° 3**

Citados: Representantes de la contraparte de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y responsable del proyecto.

Presentes:

- BCN: Iván Couso, Verónica Kulczewski, Raimundo Roberts.
- Proyecto: Rodrigo Fuster (jefe de proyecto), Gloria Lillo (asistente).



### Objetivos de la reunión:

- Revisar comentarios, dudas y aclaraciones que la contraparte tuviera sobre el primer informe de avance.
- Informar sobre estado de avance del proyecto, dificultades y próximas actividades.
- Coordinar próxima reunión con senadores.

### Contenido de la reunión:

#### Tema 1:

#### Entrega del primer informe de avance

##### Discusión:

1. El informe fue aprobado por la contraparte sin objeciones y ambas partes confirman que se realizaron los trámites necesarios para cursar los pagos del primer informe de avance.
2. La contraparte sugiere incluir algunos temas relevantes en la contextualización del estudio: conflictos que puedan generarse por el uso del agua (nacionales e internacionales); priorizar al agua por sobre otros recursos (como el petróleo) como de relevancia para nacional dado que no es sustituible y agotable, y ya que es de importancia no solo a nivel de propiedad privada sino que también de propiedad pública; enfatizar temas de seguridad nacional y estrategia militar relacionados con el agua (cuencas compartidas, salida al mar de Argentina por el lago General Carrera, otros conflictos); otros organismos internacionales y cómo están cuidando el recurso hídrico. En general, se busca que el informe final convenza a los parlamentarios respecto de la importancia del recurso hídrico en los asuntos nacionales, en el presente y futuro. Independiente de los comentarios, la contraparte destaca que el informe satisface a cabalidad las expectativas.

##### Acción:

1. Se propone que para el segundo informe se envíe un borrador antes de la fecha de entrega para que la contraparte pueda avanzar antes en su revisión y así agilizar los pagos correspondientes.
2. En respuesta a las sugerencias hechas por la contraparte, el Sr. Fuster aclara que por tiempo no es posible profundizar en todos los temas, sin embargo considera prudente incluirlos, a modo de contexto, para dar luces sobre la cantidad de cuestiones en que el recurso hídrico está involucrado, lo que se incluirá en el segundo informe de avance, en los productos que sea pertinente.

##### Responsable(s):

Rodrigo Fuster y contraparte.

#### Tema 2:

#### Reunión con senadores

##### Discusión:

1. Verónica Kulczewski informa que el Sr. Pablo Longueira habría confirmado reunión para la primera semana de junio (a la vuelta de la semana regional), también está aprovechando de coordinar, el mismo día, una reunión con el Sr. Ricardo?



Núñez.

2. La contraparte hace hincapié en que en la reunión no sólo se presenten los lineamientos del proyecto, sino que también se diagnostique el estado del recurso hídrico y así se involucre a los parlamentarios en el tema. Se comenta la relevancia que tendrá esta reunión, ya que se realizará poco tiempo después del mensaje presidencial del 21 de mayo, en que la Presidenta haría anuncios respecto del tema del proyecto.
3. La contraparte indica que es posible que los comentarios que los senadores hagan en la reunión puedan replantear algunos conceptos, y que es importante ser protocolares en el uso del lenguaje y en las materias presentadas, para no pasar a llevar susceptibilidades.

Acción:

1. La contraparte debe informar la fecha y hora de la reunión.
2. Se propone realizar un ensayo de la presentación el día viernes 29 de mayo para que la contraparte pueda dar sus sugerencias.

Responsable(s):

Contraparte BCN, equipo del proyecto.

**Tema 3:**

**Estado de avance del proyecto**

Discusión:

1. El Sr. Fuster informa que los miembros del equipo han estado realizando entrevistas a diferentes actores relevantes en el uso y administración del agua, especialmente a funcionarios de la Dirección General de Aguas (DGA), quienes han tenido muy buena disposición para la entrega de información primaria. También informa que, en el marzo de la realización de las entrevistas, se están realizando y planificando salidas a terreno a cuencas con menos información secundaria, entre ellas el Lluta, el Bio Bio y el Baker.
2. Dentro de las preocupaciones detectadas por el jefe de proyecto se encuentran: la realización de las entrevistas ha demorado más tiempo del presupuestado, especialmente la que se debe realizar al encargado de determinar la disponibilidad de cauces en la DGA, lo que podría atrasar la ejecución del producto "Propuesta de optimización de los métodos de determinación de la disponibilidad de agua por cuenca." (Actividad 2.2); también se han atrasado las salidas a terreno por la demora en la gestión de los pagos.

Acción:

1. Se propone que para el segundo informe se envíe un borrador antes de la fecha de entrega para que la contraparte pueda avanzar antes en su revisión y así agilizar los pagos correspondientes.
2. El producto mencionado podría entregarse en un 90% de avance, en caso de que la entrevista se atrase mucho más, lo que el equipo del proyecto está evitando para generar el producto como fue comprometido.

Responsable(s):

Equipo del proyecto.



**Encargada de acta:**

Gloria Lillo Ortega

Investigador Responsable

Rodrigo Fuster G.

**4. Fecha: 10 de julio de 2009.**

**Minuta de Reunión N° 4**

Citados: Representantes de la contraparte de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y responsable del proyecto.

Presentes:

- BCN: Iván Mlynarz, Pablo Morales, Rafael Torres.
- Proyecto: Rodrigo Fuster (jefe de proyecto), Gloria Lillo (asistente), Meliza González (asistente).

**Objetivos de la reunión:**

- Presentación del proyecto y su justificación, a modo de ensayo, para obtener apreciaciones generales que permitan perfeccionar una potencial presentación a senadores.

**Contenido de la reunión:**

**Tema 1: Inasistencia de contraparte**

Se dan las disculpas correspondientes por la inasistencia de la contraparte directa de la BCN, que tenía otros compromisos, esperan que Iván Mlynarz, Pablo Morales y Rafael Torres puedan entregar una perspectiva más nueva al proyecto.

**Tema 2: Presentación**

Rodrigo Fuster comienza con la presentación, donde se abarcan los principales temas que se tocan en la investigación, y se explica porque es importante.

A partir de esta presentación, se comenzó una conversación respecto al tema de los recursos hídricos en Chile. Además de las opiniones personales vertidas en la reunión, los asistentes hicieron algunas observaciones respecto de la presentación del tema (ellos no habían leído ninguno de los informes):

- Analizar críticamente los conceptos relacionados con la GIRH, considerando que es un enfoque más que un proyecto, y que por lo tanto puede ser analizado de diferentes formas.
- Entregar ejemplos claros y concretos de la situación actual, para reflejar la gravedad de la situación en Chile, además de dar razones por las cuales el tema es de interés para los senadores y de porque debiesen involucrarse en ellos.
- En general les parece bien, pero se aconseja dramatizar la situación al momento de presentar a senadores, ya que según el impacto que tenga la presentación, será el nivel de interés que surja luego para leer el proyecto. En la misma línea,



también se sugiere poner atención en la elaboración del resumen ejecutivo, ya que resulta difícil que lean el proyecto completo.

## **5. Fecha: 4 de septiembre de 2009.**

### **Minuta de Reunión N° 5**

**Citados:** Representantes de la contraparte de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y responsable del proyecto.

**Presentes:**

- BCN: Iván Couso, Verónica Kulczewski, Raimundo Roberts.
- Proyecto: Rodrigo Fuster (jefe de proyecto), Gloria Lillo (asistente).

#### **Objetivos de la reunión:**

- Informar sobre avances de la entrega final.
- Responder dudas de la contraparte y de los encargados del proyecto.

#### **Contenido de la reunión:**

##### **Tema 1: Introducción**

**Discusión:** El Sr. Fuster comienza la reunión actualizando a la contraparte sobre los avances del proyecto: Algunos productos fueron cambiados de posición (respecto de la propuesta técnica), para darle mayor coherencia al informe; Se ha asistido a varios eventos relacionados con el agua (seminarios, charlas, entre otros); los resultados de las propuestas han sido validados en un panel de expertos; Se está elaborando un resumen ejecutivo para que el informe sea accesible a los tiempos de los senadores, de manera tal que cuando quieran tener más información más detallada puedan dirigirse al informe completo.

**Acción:** Ninguna.

**Responsable(s):** Ninguno.

##### **Tema 2: Reunión con senador Ruiz-Esquide.**

**Discusión:** Verónica Kulczewski informa que el Senador Mariano Ruiz-Esquide confirmó una reunión para el día 7 de septiembre, con el objetivo de conocer el proyecto y conversar sobre el tema agua, ya que él está muy interesado en que se realicen acciones al respecto, desde el poder legislativo.

**Acción:** La reunión se fija para el lunes 7 de septiembre, a las 15:00 hrs, en las oficinas de la BCN.

**Responsable(s):** Contraparte y encargados del proyecto.



**Tema 3: Otros**

**Discusión:** La contraparte quiere darle un énfasis mediáticos al proyecto, por lo que hacen hincapié en relevar el tema de los recursos hídricos compartidos. También consideran importante en formular la presentación con el Senador de manera tal de hacer entender que el problema del agua no sólo es ambiental, también es social, y por supuesto económico.

**Acción:** Esperan que la reunión con el Senador sea clave para poder darle continuidad al proyecto en una segunda etapa, por lo que esperan que la información sea didáctica y de fácil entendimiento para cualquier audiencia.

**Responsable(s):** Encargados del proyecto.

**Encargada de acta:**

Gloria Lillo Ortega

Investigador Responsable

Rodrigo Fuster G.

**1. Fecha: 7 de septiembre de 2009.**

**Minuta de Reunión N° 6**

Citados : Honorable Senador de la República Señor Mariano Ruiz-Esquide, representantes de la contraparte de la Biblioteca del Congreso Nacional (BCN) y profesionales presentados en propuesta técnica del proyecto.

Presentes :

- Honorable Senador de la República Señor Mariano Ruiz-Esquide.
- Proyecto: Rodrigo Fuster (jefe de proyecto), Gloria Lillo (asistente de investigación), Meliza González (asistente de investigación).
- Contraparte BCN: Verónica Kulczewski, Iván Couso, Raimundo Roberts.

**Objetivo de la reunión:**

- Presentación de los resultados de la investigación a Senadores de la República, y a la contraparte de la Biblioteca del Congreso Nacional y aclaración de dudas.

**Tema 1: Presentación de resultados**

**Discusión:** Rodrigo Fuster presenta los aspectos principales de la investigación desarrollada, resumiendo los temas desarrollados en el primer y segundo informe (que ya habían sido revisados por la contraparte) a lo cual agrega los resultados más importantes de la última parte del trabajo, que corresponde especialmente a



propuestas de líneas de acción, política y estrategias a seguir en el corto, mediano y largo plazo en Chile, para tender a la gestión integrada de recursos hídricos.

La presentación se vio complementada en distintas partes por las preguntas y aclaraciones de los presentes.

Dentro de los temas que son de especial interés del Senador Ruiz-Esquide, están: el transporte de sedimentos a través de los ríos, que contaminan gravemente los estuarios y desembocaduras en el mar; esto se produciría por el exceso de sedimentos que derivan de la industria forestal y que contaminan los cursos fluviales y las zonas costeras. Al respecto, Raimundo Roberts cuenta la situación del río Ebro en España, con problemas similares, aunque más graves consecuencias. Rodrigo Fuster hace hincapié en que la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) no visualiza la gestión del agua separada de otros componentes de las cuencas, considerando las dimensiones social, ambiental y económica.

En el tema del tratamiento de aguas servidas domiciliarias, Iván Couso hace la salvedad de que el aumento positivo del tratamiento de las descargas domiciliarias en las zonas urbanas ha sido pagado por todos los usuarios de agua potable y alcantarillado a través del aumento de las tarifas. Se menciona también que el porcentaje de tratamiento de aguas servidas en las zonas rurales es menor al de las zonas urbanas, detectándose aquí un problema que debe solucionarse.

Sobre la contaminación difusa, atribuida al uso de pesticidas y agroquímicos en actividad agropecuaria, Raimundo Roberts indica que no existe en Chile regulación suficiente sobre quiénes importan y quiénes usan los químicos, por lo cual no hay trazabilidad. El Senador Ruiz-Esquide menciona que alrededor de la década de 1960 tuvo la intención de legislar sobre el uso de agroquímicos por focos de enfermedades tóxicas que hubo en algunas zonas rurales, pero que su moción no fue seguida.

Sobre el cambio climático, Verónica Kulczewski puntualiza que los Senadores, en general, no le dan importancia a este fenómeno, dado que lo ven como un asunto muy lejano.

Respecto de la compra de derechos de agua no consuntivos por parte de capitales italianos a Endesa, el Senador Ruiz-Esquide señala que la firma europea habría ofrecido estos derechos a capitales árabes, quienes podrían ser los próximos dueños del agua en Chile.

Se conversa también sobre la huella de carbono y sobre la huella del agua, de la cual no todos tenían conocimiento. Se conviene en que se enviará información sobre ello a la contraparte.

El Senador Ruiz-Esquide se refiere a proyectos de ley que están



en modificación, y que él se compromete a compartir con el equipo de investigación. Estos son: proyecto de modificación del agua para proyectos sanitarios, proyecto de modificación de uso del suelo, proyecto de modificación constitucional sobre aspectos del agua. Finalmente, se refiere a que no haya aprehensiones de indicar modificaciones legales necesarias cuando se hagan las presentaciones a otros senadores o en otras instancias.

En otros comentarios, se pide profundizar sobre algunos conceptos que no siempre son de conocimiento común, como son los estuarios (qué es y cómo funciona). En cuanto a las tablas y dibujos, a veces pueden tenerse problemas con la simbología, se debe privilegiar distintas formas antes que distintos colores, así como no dejar espacios vacíos, o poner simbología de los elementos utilizados. Para terminar, se pide que en la presentación realizada, en el esquema de Gestión Integrada de Recursos Hídricos, salga más claramente el tema de institucionalidad pública, que hoy se encuentra contenido en el cuadro de Coordinación Intersectorial para la Gestión del Agua. Requieren que sea más explícito, ya que actualmente no aparece de esta forma.

**Acción:** Se conviene en enviar la presentación realizada a la contraparte y al Senador Ruiz-Esquide, quien solicita también una copia del informe final del proyecto en cuanto esté disponible.

Tanto el Senador Ruiz-Esquide como los miembros de BCN solicitan que esta presentación de la investigación pueda replicarse a otros Honorables, o hacerse una presentación a los Presidentes de las Comisiones Legislativas que ordenaron la realización del proyecto, o bien, al Senado en su conjunto. Rodrigo Fuster señala que el equipo de investigación está dispuesto a llevar los resultados de esta investigación cuando ellos estimen conveniente.

Sobre el tema de huella ecológica y huella del agua, se enviará la información a la contraparte.

**Responsable(s):** Entrega del informa final: Rodrigo Fuster y equipo.

Envío de presentación y de información sobre la huella del agua: Rodrigo Fuster.

Coordinación de reuniones con otros Senadores, o Presidentes de las Comisiones Legislativas: Contraparte BCN.

**Encargada de acta:**

Gloria Lillo Ortega

Investigador Responsable

Rodrigo Fuster G.



## **ANEXO 9: FUENTES PRIMARIAS DE INFORMACIÓN UTILIZADAS: ENTREVISTAS, ASISTENCIA A ACTIVIDADES Y PANELES DE EXPERTOS.**

### **Detalle de entrevistas realizadas**

Nombre entrevistado : Pedro Rivera  
Institución u Organización : Dirección General de Aguas  
Cargo o función : Jefe División de Estudios y Planificación  
Fecha de la entrevista : 5 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Marco Soto  
Institución u Organización : Dirección Regional de Aguas, Región de Antofagasta  
Cargo o función : Ex Director Regional, período 2001-2008  
Fecha de la entrevista : 11 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Carlos Galleguillos  
Institución u Organización : Dirección General de Aguas  
Cargo o función : Director Regional DGA Coquimbo  
Fecha de la entrevista : 14 de mayo 2009  
Tipo de entrevista : Telefónica

---

Nombre entrevistado : Ramón Daza  
Institución u Organización : Dirección Regional de Aguas, Región del Biobío  
Cargo o función : Director Regional  
Fecha de la entrevista : 18 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Dr. Oscar Parra Barrientos  
Institución u Organización : Centro de Ciencias Ambientales EULA, Universidad de Concepción  
Cargo o función : Director  
Fecha de la entrevista : 19 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Pedro Bravo  
Institución u Organización : Ministerio de Obras Públicas  
Cargo o función : Seremi Región del Maule  
Fecha de la entrevista : 19 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Correo-e

---

Nombre entrevistado : Claudio Lam  
Institución u Organización : Dirección Regional de Aguas, Región de Antofagasta  
Cargo o función : Director Regional  
Fecha de la entrevista : 20 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Telefónica

---



Nombre entrevistada : Camila Teutsch  
Institución u Organización : Dirección Regional de Aguas, Región de Aysén  
Cargo o función : Encargada de implementación de Estrategia de Gestión Integrada de la Cuenca del río Baker.  
Fecha de la entrevista : 22 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistada : Fabián Espinoza Castillo  
Institución u Organización : Dirección Regional de Aguas, Región de Aysén  
Cargo o función : Directos Regional DGA Aysén  
Fecha de la entrevista : 22 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistada : José Pablo Sáez Villouta  
Institución u Organización : CONAMA Aysén  
Cargo o función : Director Regional CONAMA Aysén  
Fecha de la entrevista : 22 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistada : Giovanni Queirolo Palma  
Institución u Organización : SISS Aysén  
Cargo o función : Jefe de la oficina regional de la SISS Aysén  
Fecha de la entrevista : 22 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistada : Marco Salgado  
Institución u Organización : Comunidad de Aguas Chile Chico  
Fecha de la entrevista : 22 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistada : Luis Hansen  
Institución u Organización : Comité de Regantes de Bahía Jara  
Fecha de la entrevista : 22 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistada : Ximena Paredes  
Institución u Organización : Dirección General de Aguas  
Cargo o función : Jefa Dpto. de Administración de Recursos Hídricos  
Fecha de la entrevista : 26 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Carlos Araya  
Institución u Organización : Coordinadora por la Defensa del Agua y Medio Ambiente en Copiapó, Región de Atacama  
Cargo o función : Sin cargo específico  
Fecha de la entrevista : 26 de mayo de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---



Nombre entrevistado : Manuel Muñoz Cepeda  
Institución u Organización : Junta de Vigilancia Río Grande  
Cargo o función : Administrador  
Fecha de la entrevista : 03 de junio 2009  
Tipo de entrevista : Vía correo electrónico

---

Nombre entrevistado : Luis Rojas  
Institución u Organización : Dirección General de Aguas  
Cargo o función : División de Estudios y Planificación  
Fecha de la entrevista : 5 de junio de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Waldo Contreras  
Institución u Organización : Dirección General de Aguas, Región de Arica y Parinacota  
Cargo o función : Director Regional  
Fecha de la entrevista : 8 de junio de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Michel Humire  
Institución u Organización : Junta de Vigilancia del Río Lluta  
Cargo o función : Presidente  
Fecha de la entrevista : 8 de junio de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Raúl Valenzuela  
Institución u Organización : Dirección Regional de Aguas, Región de Atacama  
Cargo o función : Departamento de Fiscalización  
Fecha de la entrevista : 8 de junio de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Mario Vargas  
Institución u Organización : Mesa del Agua Región de Arica y Parinacota  
Cargo o función : Secretario Ejecutivo  
Fecha de la entrevista : 8 de junio de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Adrián Lillo  
Institución u Organización : Dirección General de Aguas  
Cargo o función : Ingeniero, Departamento de Estudios  
Fecha de la entrevista : 8 de junio de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---

Nombre entrevistado : Pilar Valenzuela  
Institución u Organización : Comisión Nacional del Medio Ambiente  
Cargo o función : Encargada de la Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas  
Fecha de la entrevista : 8 de junio de 2009  
Tipo de entrevista : Personal

---



## **Detalle de actividades en las que ha participado el equipo de trabajo**

- Reunión del Comité Asesor del Proyecto de Preparación de la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático del año 2009. Organizada por CONAMA y PNUD, realizada el 19 de marzo de 2009 en la sede de FAO.
- Seminario "La plataforma del agua en Chile". Campaña por la Nacionalización del Agua "Recuperemos el agua para Chile". Realizada el 27 de abril de 2009 en el edificio del ex Congreso Nacional.
- "Seminario Internacional sobre Sequías y Gestión del Riesgo Climático", realizado el 27 y 28 de mayo de 2009 en La Serena, organizado por CAZALAC, INIA e INFOR.
- Conferencia Internacional "Represas y mercados: los ríos y la generación eléctrica en Chile", del investigador norteamericano Carl Bauer, con la participación de Alejandro Vergara, profesor de la Escuela de Derecho de la PUC; Hugo Rudnick, profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la PUC; Juan Pablo Orrego, Ecólogo y coordinador de la ONG Ecosistemas; y Francisco Sabatini, Profesor del Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales de la PUC, desarrollado en la Universidad Diego Portales, el 20 de julio de 2009.
- Seminario Nacional "El rol de los SIG en los nuevos desafíos del gobierno", organizado por ESRI Chile, 29 y 30 de julio de 2009, Santiago.
- Diplomado: "Gestión del agua y el ambiente, en la sociedad del siglo XXI", dictado por el Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile. Participación en clases presenciales del Módulo I "Políticas Públicas", clases presenciales del Módulo II "Manejo y Gestión integrada de cuencas", y Charla de Inicio del Diplomado, a cargo del investigador norteamericano Carl Bauer sobre el sistema de gestión de aguas chileno. Julio y Agosto de 2009.
- Taller de Capacidades de la Universidad de Chile en el área de Recursos Hídricos, organizada por la Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo, realizada el 5 de agosto de 2009 en la Casa Central de la Universidad de Chile.
- Seminario Internacional "Conflictos actuales y derecho humano al agua. Hacia una nueva cultura del agua", realizado el 3 y 4 de septiembre de 2009 en la Casa Central de la Universidad de Chile.



## Paneles de Expertos

En el transcurso de la investigación se realizaron dos paneles de expertos:

### **Panel de expertos 1**

Fecha: 19 de marzo de 2009.

Invitados expertos:

N°	NOMBRE	PROFESIÓN	EMPRESA	CARGO
1	Araneda Luis	Ingeniero Civil Agrícola	Asociación Canales del Maipo	Administrador
2	Burgos Angélica	Ingeniero Comercial	Agencia Nacional de Inteligencia	Analista
3	Castillo Pablo	Licenciado en Agronomía	Castillo Ingeniería	Gerente
4	Carrasco Priscilla	Ingeniero Agrónomo	Asociación de canalistas del canal Camarico	Profesional Administración
5	Herrera Carolina	Ingeniero Agrónomo	Servicio País, Petorca	Profesional Junta de Vigilancia
6	Riquelme Gastón	Ingeniero Agrónomo	Servicio País, Cabildo	Profesional Junta de Vigilancia
7	Riveros Rodrigo	Ingeniero Agrónomo	CNR	Profesional
8	Soto Juan Francisco	Ingeniero Civil	Asociación de canalistas del canal Camarico	Administrador
9	Rojas Roberto	Licenciado en Geografía	DGA	Profesional Área Aguas Subterráneas
10	Castillo Yuri	Ingeniero en recursos naturales Renovables	Arrau Consultores	Profesional SIG y recursos hídricos
11	León Paulina	Ingeniero en recursos naturales Renovables	Arrau Consultores	Profesional Recursos Hídricos y Calidad
12	Palacios Ana Karina	Licenciada en recursos naturales Renovables	U. de Chile	Académica Hidrología y Manejo de Cuencas
13	Sepúlveda Belén	Licenciada en recursos naturales Renovables	U. de Chile	Profesional Valoración ambiental
14	Lizana Claudia	Ingeniero en recursos naturales Renovables	Arrau Consultores	Profesional Recursos hídricos



### **Panel de expertos 2:**

Fecha: 21 de agosto de 2009.

Invitados expertos:

<b>Nº</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>PROFESIÓN</b>	<b>EMPRESA</b>	<b>CARGO</b>
1	Cartes María Inés	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables	Sociedad Río Longaví	Asesor en gestión de recursos hídricos
2	Cerda Claudia	Ingeniera Forestal	Universidad de Chile	Docente
3	Moya Hilda	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables	Servicio País cuenca del río Huasco	Profesional
4	Palacios Ana Karina	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables	Departamento de Ciencias ambientales, Universidad de Chile	Profesora del Taller de Manejo Integrado de Cuencas.
5	Riestra Francisco	Biólogo	DGA	Jefe de la unidad de fiscalización
6	Rivera Pedro	Ingeniero civil hidráulico	DGA	Jefe del departamento de estudios y planificación
7	Riveros Rodrigo	Ingeniero Agrónomo	CNR	Profesional
8	Ureta Nicolás	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables	Corporación Proyecta	Profesional
9	Jan Van Wambeke	Ingeniero Agrónomo	Oficina Regional de la FAO	Oficial Principal de Desarrollo Tierra y Agua

**Organizadores presentes en los paneles:** Rodrigo Fuster, Meliza González, Gloria Lillo, Luis González, Cristián Escobar.

**Objetivo de los paneles:** Recoger de los expertos sus opiniones respecto de aquellos elementos o dimensiones que según su criterio deben ser incluidos en una política de gestión de recursos hídricos de manera de tender hacia una Gestión Integrada de Recursos Hídricos.

Para el segundo panel, además se buscó validar las propuestas de políticas, instrumentos y estrategia contenidas como resultado en la última etapa del proyecto.

## **ANEXO 10: LISTADO DE ACRÓNIMOS**

AC: Análisis Conjoint.  
ACB: Análisis Costo Beneficio.  
AEDyR: Asociación Española de Desalación y Reutilización.  
AOX: Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles.  
APR: Agua Potable Rural.  
ARO: U.S. Army Research Office.  
ATS: Secretaría del Tratado Antártico.  
BADEIMA: Base de Estadísticas e Indicadores de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe.  
BADESALC: Base de Datos de Indicadores de Desarrollo Sostenible.  
BCN: Biblioteca del Congreso Nacional.  
BID: Banco Internacional del Desarrollo.  
BRM: Bioreactores a Membrana.  
CCFA: Convención para la Conservación de Focas Antárticas.  
CCRVMA: Convención para la Conservación de Recursos Vivos Marinos y Antárticos.  
CDS: Comisión de Desarrollo Sostenible.  
CE: Caudales Ecológicos.  
CE: Conductividad Eléctrica.  
CECS: Centro de Estudios Científicos.  
CEDC-SING: Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado del Norte Grande de Chile.  
CELCO: Celulosa Arauco y Constitución.  
CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe.  
CGCM2: Canadian Global Coupled Model.  
CIREN: Centro de Información de Recursos Naturales.  
CIRH: Centro de Información de Recursos Hídricos de la DGA.  
CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático.  
CNR: Comisión Nacional de Riego.  
CNUMAD: Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo.  
CODELCO: Corporación del Cobre.  
CONADI: Corporación Nacional de Desarrollo Indígena.  
CONAF: Corporación Nacional Forestal.  
CONAMA: Comisión Nacional de Medio Ambiente.  
CONICYT: Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica.  
COP: Conferencia de las Partes.  
COREMA: Comisión Regional de Medio Ambiente.  
CORFO: Corporación de Fomento de la Producción.  
CORMA: Corporación de la Madera.  
CRU: Climate Research Unit.  
CSIRO: Commonwealth Scientific and industrial Research Organisation, Australia.  
DAA: Disposición a Aceptar.  
DAP: Disposición a Pagar.  
DBO: Demanda Biológica de Oxígeno.  
DC: Demanda comprometida.  
DESALARI: Desaladora de Arica S.A.  
DFL: Decreto con Fuerza de Ley.  
DGA: Dirección General de Aguas.  
DIA: Declaración de Impacto Ambiental.



DICTUC: Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnologías de la Pontificia Universidad Católica de Chile.  
DIRECTEMAR: Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante.  
DOH: Dirección de Obras Hidráulicas del MOP.  
DQO: Demanda Química de Oxígeno.  
DS: Decreto Supremo.  
DT: Demanda total.  
DTO: Decreto.  
ED: Electrodiálisis.  
EIA: Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental.  
ENGICH: Estrategia Nacional de Gestión Integrada de Cuencas Hidrográficas.  
EPIs: Indicadores de Desempeño Ambiental. 216  
EPA: Agencia de Protección Ambiental, Estados Unidos.  
ETP: Evapotranspiración.  
EULA: Centro de Ciencias Ambientales de la Universidad de Concepción.  
FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.  
FCAB: Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia.  
GCM: Modelos Generales de Circulación del Clima.  
GEF: Global Environment Facility.  
GEI: Gases de Efecto Invernadero.  
GIRH: Gestión Integrada de Recursos Hídricos.  
GWP: Global Water Partnership.  
HadCM3: UK's Hadley Centre Model.  
IAI: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global.  
IANSAs: Industria Azucarera Nacional S.A.  
ICAS: Índice de Calidad de Agua Superficial.  
IDS: Indicador de Desarrollo Sostenible.  
IDSRH: Indicador de Desarrollo Sostenible del Recurso Hídrico.  
IGM: Instituto Geográfico Militar.  
IHA: Indicators of Hydrologic Alteration.  
INDAP: Instituto de Desarrollo Agropecuario.  
INE: Instituto Nacional de Estadísticas.  
ILAC: Iniciativa Latinoamérica y Caribeña para el Desarrollo Sostenible.  
IP: Infiltración-Percolación.  
IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.  
IPM: Índice de Producción Minera.  
JICA: Japan International Cooperation Agency.  
JVRC: Junta de Vigilancia del Río Copiapó.  
LT\_MED: Desalación Multi-efecto de Baja Temperatura.  
MA: Mesas del Agua.  
MED: Destilación por Múltiple Efecto.  
MGCAO: Modelo de Circulación General Atmósfera-Océano.  
MINAGRI: Ministerio de Agricultura.  
MINEDUC: Ministerio de Educación.  
MINVU: Ministerio de Vivienda.  
MIZC: Manejo Integrado de las Zonas Costeras.  
MOP: Ministerio de Obras Públicas.  
MSF: Evaporación por Múltiple Flash.  
NCh: Norma Chilena.  
NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.  
OCDE: Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.  
OES: Bureau of Oceans and International Environmental and Scientific Affairs.



OD: Oxígeno Disuelto.  
ODM: Objetivos de Desarrollo del Nuevo Milenio  
OI: Ósmosis Inversa.  
ONG: Organización no Gubernamental.  
OCCC: Obras Complementarias.  
OSE: Observatorio de la Sostenibilidad en España.  
OUA: Organizaciones de Usuarios del Agua.  
PESA: Programa Especial para la Seguridad Alimentaria, en Centroamérica.  
PER: Presión-Estado-Respuesta.  
PHN: Plan Hidrológico Nacional, Murcia, España.  
PIB: Producto Interno Bruto.  
PMA: Programa de Mesas del Agua.  
PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.  
PPCH: Planes de Prevención de Cuencas Hidrográficas.  
PRCH: Planes de Recuperación de Cuencas Hidrográficas.  
PRECIS: Providing Regional Climates for Impact Studies.  
PRODEMU: Fundación para la Promoción y Desarrollo de la Mujer.  
PTAS: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas.  
PWM: Momentos de Probabilidad Ponderados.  
RBC: Rotating Biological Contactor / Biodiscos.  
RCA: Resolución de Calificación Ambiental.  
RES: Radio eco sondaje.  
RILES: Residuos Líquidos Industriales.  
RO: Ósmosis Inversa (en inglés).  
RSM: Regional Simulation Model.  
SAG: Servicio Agrícola y Ganadero.  
SBR: Sequencing Bath Reactors / Reactores Secuenciales Discontínuos.  
SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.  
SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, México.  
SENCE: Servicio Nacional de Capacitación y Empleo.  
SEREMI: Secretaría Regional Ministerial.  
SERNAGEOMIN: Servicio Nacional de Geología y Minería.  
SERNATUR: Servicio Nacional de Turismo.  
SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.  
SNASPE: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado.  
SNIA: Sistema Nacional de Indicadores Ambientales, México.  
SS: Sólidos Suspendidos Totales.  
SWAT: Soil and Water Assesment Tool.  
UNDP: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (en español, PNUD)  
UPC: Universidad Politécnica de Catalunya.  
VC: Valoración Contingente.  
VE: Valor de Existencia.  
VET: Valor Económico Total.  
VL: Valor de Legado.  
VNU: Valor de No Uso.  
VO: Valor de Opción.  
VS: Volumen sustentable.  
VU: Valor de Uso.  
VUD: Valor de Uso Directo  
VUI: Valor de Uso Indirecto.  
WAIS: Placa de Hielo del Antártico Oeste.  
WEAP: Water Evaluation and Planning.