



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO IMPERIAL

RESUMEN EJECUTIVO

REALIZADO POR:

Ingeniería y Gestión Ambiental Enlaces SpA

S.I.T. N° 475

Santiago, Julio 2021

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda hacerlo según el siguiente formato:

DGA, 2021. PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RIO IMPERIAL. S.I.T. N° 475, 2021. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por ENLACES SpA.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas (S)
Ingeniero Civil mención Hidráulica, Sanitaria y Ambiental Cristián Núñez Riveros

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Mauricio Lorca Miranda

Inspector Fiscal
Ingeniero Civil, Álvaro Maurín Zepeda

Inspectora Fiscal Subrogante
Constructora Civil, Cecilia Roa Espinoza

INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL ENLACES SPA

Jefa de Proyecto
Ingeniera Civil Hidráulica, María Angélica Alegría Calvo

Profesionales Equipo Especialistas

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables, Pía Carolina García Peña

Ingeniera Civil Hidráulica, María Alejandra Isamit Faure

Ingeniero Civil Hidráulico, Maximiliano Arriagada Ulloa

Ingeniero Civil Agrícola, David Osvaldo Pávez Pávez

Antropólogo, Felipe Arturo Maturana Díaz

Geógrafo, Javier Ignacio Fuentes Torrejón

Geólogo, Mauricio Claría Hofer

Ingeniero en Recursos Naturales, Yuri Alejandro Castillo Ávalos

Ingeniero Civil, Juan Carlos Salgado González

Ingeniero Civil (e), Felipe Alberto Durán Burnier

Ingeniera Civil Hidráulica, María José Chacón Zepeda

Ingeniero Civil Industrial, Fernando Jofré Alegría

Contenido

1. Introducción y Objetivos del Estudio	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1 Objetivo General	1
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3. Alcances Generales	3
2. Plan de Acción	4
2.1. Estructura del Plan de Gestión	4
2.2 Acciones	4
2.2.1. Brechas	4
2.2.2. Iniciativas	6
2.2.3. Iniciativas Propuestas	7
2.3. Evaluación de las Medidas	7
2.3.1. Evaluación Económica	7
2.3.2. Evaluación Social	8
2.3.3. Evaluación Ambiental	8
2.3.4. Priorización de las Medidas según Línea de Acción	9
2.3.5. Valorización Económica del Plan de Gestión	9
2.3.6. Acciones Ejecutadas por DGA	10
2.3.7. Acciones Ejecutadas por Otras Instituciones	10
3. Implementación del Plan	10
3.1. Hitos de Referencia en la Implementación del Plan	10
3.1.1. Estructura del Plan de Gestión	10
3.1.2. Corto Plazo	11
3.1.3 Mediano Plazo	11
3.1.4. Largo Plazo	12
3.2. Éxito del Plan de Acción	12
3.2.1. Aspectos Institucionales	12
3.2.2. Aspectos de Cultura del Agua	13
	1

3.2.3. Aspectos de Financiamiento	14
3.2.4. Aspectos Normativos	14
3.3. Estrategia de Comunicación	15
3.3.1. Comunicación y Difusión durante el Desarrollo del Estudio	15
3.3.2. Comunicación y Difusión del PEGH en Fases Posteriores	16
3.4. Identificación de Fuentes de Financiamiento del Plan	17
4. Monitoreo y Evaluación del Plan	17
4.1. Plan de Monitoreo	17
4.1.1. Indicadores de la Evaluación de las Iniciativas	18
4.1.2. Indicadores del PEGH	18
4.1.3. Seguimiento del PEGH	18
4.2. Mecanismos para el Análisis y Toma de Decisiones	19
5. Modelos de Simulación Desarrollados	20
5.1. Modelo de Simulación Superficial	20
5.2. Interacción Modelo Superficial y Subterráneo	20
5.2.1. Esquema de Interacción	20
5.2.2. Recargas Estimadas por Modelo Superficial	21
5.3. Modelo de Aguas Subterráneas	21
5.3.1. Sustentabilidad en los Acuíferos	21
5.4. Escenarios de Modelación	22
5.4.1. Usos Analizados e Indicador "Satisfacción de la Demanda" (SD)	22
5.4.2. Período Histórico (Caso Base)	23
5.4.3. Escenario 0: Cambio Climático	23
5.4.4. Escenarios de Gestión Específicos	24
5.5. Brechas de Modelación	24
5.5.1. Aguas Superficiales	24
5.5.2. Aguas Subterráneas	26

1. Introducción y Objetivos del Estudio

1.1. Introducción

La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado de Chile que se encarga de planificar el desarrollo del recurso agua en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento, promoviendo su gestión y administración en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación y uso eficiente, tanto para el consumo humano, como la producción de bienes y servicios y la conservación del medio ambiente.

Actualmente, dicho contexto es complejo. Se combina la necesidad de información para apoyar una gestión integrada del agua a nivel de cuenca con una alta presión de uso sobre los recursos hídricos en sus diferentes formas y un clima cambiante con pronósticos poco alentadores a nivel mundial de acuerdo al Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC, 2014), que acentúan procesos como la megasequía que se vive en Chile desde 2010.

Considerando lo anterior, la DGA inició un plan a nivel país para llevar a cabo el desarrollo de planes estratégicos de gestión hídrica para todas las cuencas del territorio nacional, priorizando la ejecución de estos según la alta presión de uso y la ubicación de la cuenca o cuencas en estudio en zonas afectadas por la crisis climática global y el efecto de la megasequía.

Los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) de la Dirección General de Aguas (DGA), se enmarcan dentro de una estrategia que propone un nuevo enfoque de gestión por cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de corto, mediano y largo plazo, de acuerdo con las necesidades propias de cada cuenca, para formular una hoja de ruta realizable y medible, para hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile para gestionar el agua.

El presente PEGH se ha formulado para la cuenca del río Imperial

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

El objetivo general del estudio es proponer un plan estratégico indicativo para la cuencas del río Imperial, para que en su realidad se pueda conocer la oferta y demanda actual del agua, establecer balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso

hídrico, y proponer cartera de acciones DGA y de terceros público-privados, que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos se identifican los siguientes:

Objetivo 1: Conocer el estado actual de la Cuenca Imperial en cuanto a oferta, demanda, balance de agua (en cuanto a derechos y demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, gobernanza, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y de nieves.

Objetivo 2: Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo, de no estarlos, según los estudios que se hayan realizado con anterioridad.

Objetivo 3: Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.

Objetivo 4: Diagnosticar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas, así como definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.

Objetivo 5: Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial y subterránea, de montaña y glaciares. Se deberá analizar el estado de funcionamiento, la antigüedad y confiabilidad de los sistemas en general.

Objetivo 6: Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones estratégicas de gestión para reducirlas, generando un caso base y distintos escenarios para la evaluación.

Objetivo 7: Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones mediante la utilización de modelos operativos de gestión, con escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y adaptativos en el tiempo.

Objetivo 8: Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

1.3. Alcances Generales

Atendiendo a los objetivos del estudio, la metodología contempló las siguientes actividades principales:

- Descripción de la cuenca. Consistió en una recopilación de antecedentes sobre la cuenca del río Imperial, con sus principales características hidrológicas, geográficas, administrativas, económicas, sociales, y otros aspectos en torno al recurso hídrico y su gestión actual.
- Diagnóstico de la cuenca. El diagnóstico contempló principalmente el análisis de los siguientes aspectos:
 - Oferta y demanda de agua, actual y futura (años 2030 y 2050);
 - Infraestructura relativa a materia hídrica;
 - Gobernanza
 - Brechas
 - Cartera de acciones.
- Desarrollo de modelos de simulación hidrológicos superficiales y subterráneos y su integración
- Participación Ciudadana. Las actividades PAC dentro del estudio consistieron en en reuniones con actores relevantes de la cuenca, que retroalimentaron el diagnóstico y brindaron información sobre problemáticas reales y potenciales soluciones
- Formulación del Plan de Acción. Elaboración de un portafolio con acciones o iniciativas enfocadas en la resolución de las principales brechas y/o problemáticas detectadas en el diagnóstico y reuniones PAC, apoyándose en los modelos numéricos para establecer posibles escenarios de gestión, dirigido a la DGA y a otros organismos públicos relacionados con los recursos hídricos de la cuenca, con horizontes a corto, mediano y largo plazo.

La caracterización de la cuenca, su diagnóstico, los resultados de los modelos hidrológico e hidrogeológico y las actividades PAC realizadas se detallan exhaustivamente en el Informe Final del estudio.

Este resumen ejecutivo se enfoca en el plan de acción formulado y las acciones resultantes priorizadas.

2. Plan de Acción

Se identifican las potenciales iniciativas a incorporar en el Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la Cuenca del Río Imperial, como resultado de un diagnóstico previo y la evaluación de la cartera de iniciativas actualmente existente, resumiendo cada acción en una ficha resumen identificatoria.

2.1. Estructura del Plan de Gestión

El plan estratégico de gestión hídrica (PEGH) se estructuró en torno a 3 ejes, los que buscan dar cumplimiento con los objetivos del plan:

- Eje 1. Monitoreo del Recurso Hídrico.
- Eje 2. Gestión y Gobernanza del Agua.
- Eje 3. Conservación y Protección del Recurso y del Ecosistema Hídrico.

Las acciones se han agrupado según la siguiente temática:

- Obras hidráulicas (OH)
- Medidas de gestión (MG)
- Generación de información (GI)
- Nuevas fuentes de agua (NF)
- Gobernanza (G)

Un aspecto relevante que considerar a futuro es la ausencia en la formulación de los modelos de la componente calidad de agua, aspecto sustantivo para una adecuada formulación de un plan por lo que se debe ahondar en el análisis y propuesta de su integración en los modelos en base de la recopilación y análisis de información y conocimiento de esta variable en la cuenca.

2.2 Acciones

2.2.1. Brechas

La formulación de acciones se basaron en las brechas detectadas en cada uno de los temas específicos analizados en el desarrollo del estudio, en lo relacionado con la gobernanza necesaria para una real implementación de una gestión integrada de cuencas se detectaron importantes y numerosas brechas que cruzan a todas las cuencas del país pero que además tienen también algún grado significancia específica en relación con la cuenca analizada, aun cuando en lo general corresponden a planteamientos generales como Nación y como

sociedad. Es por eso que en este acápite se detallan dichas brechas a partir de las cuales se formulan acciones asociadas a esta componente.

Estas brechas, que son estructurales, impiden en definitiva esta gestión integrada que se promociona y divulga, por lo que con una adecuada propuesta de acciones se podría tender a una real y efectiva implementación de este proceso de manera efectiva y sustentable.

Es destacable la brecha que generan el caudal ecológico mínimo de la DGA y el caudal ambiental del SEA en proyectos que se someten a evaluación lo que, en términos de efectividad, ameritan que se haga un análisis y se adopten los ajustes normativos y legales que correspondan porque la DGA tiene dos instancias para evaluar caudal ecológico: una es a través del proceso de constitución de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales, que corresponde a su competencia sectorial, denominado en la DGA como "caudal ecológico mínimo" ; y su segunda competencia que es ambiental a través de la evaluación ambiental de proyectos en el marco del SEIA, denominado "caudal ambiental" Lo expuesto amerita un análisis y propuesta en consecuencia de armonización de esta exigencia legal dual.

Otra brecha relevante detectada que no es sólo respecto del sector del agua es la relacionada con el enfoque y la transversalización de género, como una medida orientada a generar condiciones de igualdad y equidad para la ciudadanía, lo que debiera llamar a la reflexión y posterior acción por parte del Estado a fin de subsanar estas desigualdades.

En general se tiene una ausencia casi absoluta, con la excepción del INE que entrega data desagregada por género, de información desagregada en temas de agua que permita un análisis de género. Los escasos análisis que pudieron hacerse en el caso de este Plan Estratégico se basaron en separación manual de miles de datos lo que evidencia una brecha gigantesca que impide determinar los sectores a considerar e integrar en el ejercicio de la función pública de los organismos relacionados con la gestión del agua

La desagregación de información que se pudo hacer fue en el caso de las PACs y en el análisis del cobro de patente.

En el caso de las PACs, se evidencia un desbalance entre hombre y mujeres aun cuando los distintos gobiernos han impulsado su inclusión. La explicación de esto es que no han sido suficientes o no ha habido una voluntad política verdadera para que ello ocurra.

Lo mismo aconteció en las organizaciones de la sociedad civil y en el sector privado, donde el enfoque de género no ha logrado ingresar con fuerza.

Para la adecuada gestión del agua se requiere primero información desagregada que permita diseñar políticas y estrategias orientadas a las personas a fin de que el acceso al agua y su uso productivo sea más eficiente y efectivo.

En el caso de la distinción entre hombres y mujeres hay una mirada ciega respecto de la información que permita lograr equidad e igualdad social, cultural, económica y ambiental y en un sentido más práctico, poder formular soluciones e iniciativas efectivas. Las mujeres siguen marginadas a actividades de gestión del agua a nivel local y domiciliario sin permitírsele escalar a actividades de gestión de mayor alcance a nivel de las cuencas y acuíferos.

Otra brecha importante detectada es la falta de capacitación y/o formación en materias técnicas, normativas y legales que son necesarias de generar a fin de poder gestionar las aguas con un enfoque integrado.

Como una acción de mediano y largo plazo se tiene la necesidad de hacer un diagnóstico de las capacidades profesionales existentes en cada cuenca para que en función de ese análisis se generen las acciones necesarias para contar con profesionales suficientemente capacitados en todas las áreas que sean necesarias para la implementación efectiva de los Planes Estratégicos de la DGA. Acciones como promover en las instituciones de educación superior profesiones como las de hidromensor/a por ejemplo, o profesiones que permitan inscribirse como Inspectores/as Ambientales, por dar ejemplos simples, sería un gran avance en lo del monitoreo y medición de las aguas, al igual que otras especialidades que se detecten y sean necesarias de promover y generar.

2.2.2. Iniciativas

Se desarrollaron las iniciativas o acciones a ser incorporadas en el Plan de Acción de la cuenca del río Imperial, resultado del diagnóstico y la Participación Ciudadana previas, que se resumieron en una ficha identificatoria (Anexo K1).

Las acciones buscan dar cumplimiento a los objetivos propuestos del PEGH, y en lo concreto, persiguen asegurar el abastecimiento de agua, tanto superficial como subterránea, en cantidad y calidad considerando la demanda y las variaciones a la oferta asociadas a la adaptación al cambio climático.

Se identificaron 37 acciones, de las cuales 24 fueron levantadas desde el diagnóstico, 5 de las PAC y 11 de las PAC y diagnóstico.

A partir de lo anteriormente indicado es que se observa la relevancia de las actividades PAC en visibilizar problemáticas de la cuenca que no fueron detectadas en el diagnóstico.

2.2.3. Iniciativas Propuestas

La cartera de iniciativas para el PEGH de la cuenca del río Inperial se determinó en función de la evaluación económica, social y ambiental, así como la priorización, valorización y cronograma propuesto para la implementación

La priorización de las iniciativas se definió a partir del diagnóstico de la cuenca; los aportes del proceso de PAC; y la opinión experta del equipo consultor, que contempla las componentes económica, ambiental y social.

En el Anexo K2 se presenta la matriz en la cual se categorizan las acciones según ámbito e indica los objetivos del plan que cumple cada una.

Con el fin de priorizar las acciones se ha elaborado una evaluación que contempla las componentes económica, ambiental y social de cada iniciativa.

2.3. Evaluación de las Medidas

2.3.1. Evaluación Económica

Esta evaluación consideró tener un indicador económico comparable entre las acciones, la evaluación económica se centra en el enfoque costo eficiencia, utilizando como indicador el valor actual de costos (VAC) y el costo anual equivalente (CAE).

Desde la perspectiva del VAC y CAE, las alternativas de solución evaluada que presentan el menor valor son las más convenientes, desde el punto de vista técnico económico, estas se refieren a la necesidad de implementar programas de fiscalización de la DGA, el desarrollo integrado de Planes Estratégicos de cuenca, que permitan vincular el movimiento de aguas subterráneas, como también el diagnóstico de la disponibilidad hídrica para reservar derechos para usos extractivos y/o caducar los que están sin uso.

Desde la perspectiva de los costos de las iniciativas, las acciones con mayor costo representan una mayor inversión anual. Para la cuenca del Río Imperial estas acciones tienen que ver con levantamiento de información y estudios para desarrollar infraestructura hidráulica, como es el caso del Embalse Cautín y los canales de regadío Vertientes Púa y Canal Imperial, medidas habilitantes para hacer uso del agua para fines agrícolas principalmente.

2.3.2. Evaluación Social

La presente evaluación social de las acciones o cartera de iniciativas elaboradas para el PEGH de la cuenca del río Imperial, tiene como base la síntesis del proceso de participación ciudadana que incluye el "Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Imperial" (Ayala et al., 2001) junto con los resultados de las actividades PAC del presente PEGH expuestos en el capítulo 2.6 Gobernanza (para más detalle ver Anexo I: Participación Ciudadana (PAC)).

Los discursos de los diferentes actores analizados señalan que no hay suficientes sistemas de almacenamiento (embalses u otros) destinados a acumular agua lluvia para el verano. En particular en la zona norte de la cuenca, es decir las comunas de Victoria, Lautaro y Traiguén, ya que son suelos poco profundos, que requieren obras de riego que den solución al problema social existente en la zona. El agua subterránea aparece como una alternativa hasta que se haga un embalse u otros sistemas de almacenamiento. Por otro lado, también aparece como importante sensibilizar a la población sobre la relevancia del agua en el cuidado del Medio Ambiente. Al respecto, los actores manifestaron la necesidad de fijar los deslindes de los ríos y lagos en terrenos de bienes nacionales de uso público, la necesidad de elaborar un catastro de humedales y la construcción de estructuras para la conservación de suelos y la protección de las riberas. Asimismo, diversos actores vinculados a comunidades indígenas propusieron la recuperación de suelos mediante un gran proyecto de forestación de la cuenca, comenzando por plantar una franja de 40 metros de bosque nativo en ambos lados de los cursos de agua para la recarga de los acuíferos. Por otro lado, los actores públicos destacaron la importancia de regular los cauces naturales, para evitar la contaminación, las extracciones e intervenciones ilegales, así como también, proteger y conservar los ecosistemas hídricos pues son los que resguardan el desarrollo productivo. Por su lado, los actores de la sociedad civil llamaron a respetar el caudal ecológico y a recuperar playas y parques aledaños a los cursos de agua para la recreación de la población, y denuncian la extracción indiscriminada de áridos en los ríos y la destrucción de humedales en los ríos. (para más detalle ver Anexo I: Participación Ciudadana (PAC)).

2.3.3. Evaluación Ambiental

Para la evaluación ambiental se definieron dos indicadores de evaluación: Categoría del Impacto en la protección y conservación de los recursos y Escala del Impacto. Ambos criterios son evaluados en mesa de trabajo con el equipo, consensuando que estos indicadores son representativos para una aproximación válida para evaluación ambiental,

teniendo en consideración lo general de las medidas y el carácter de impacto positivo de cada una de ellas.

2.3.4. Priorización de las Medidas según Línea de Acción

Dentro del conjunto de líneas de acción estratégicas y las iniciativas que las componen, se definió una planificación para su implementación, priorizando aquellas que requieren una especial atención por tratar temas que constituyen la base en la que se apoyarán otras acciones. Para ello se priorizaron las acciones atendiendo a una secuencia estratégica de planificación, que a su vez se fundamenta en el diagnóstico realizado en la primera parte del Plan y en las entrevistas con actores relevantes.

El objetivo de la priorización es planificar la ejecución del PEGH en el horizonte previsto como corto, mediano y largo plazo. El Plan se ha definido en 10 años; no obstante, hay acciones contempladas en éste que podrían exceder dicho periodo, y que se consideran estratégicas por cuanto vienen a resolver problemas relevantes en términos de gestión hídrica. Es importante mencionar que la priorización se basa en un análisis de experto de cada componente, las cuales han sido normalizadas de los índices de cada componente y posteriormente se les ha dado el mismo peso a cada componente. Revisar el Anexo K donde se presenta la matriz de acciones priorizada y los cálculos realizados en la normalización de los índices económico, social y ambiental.

2.3.5. Valorización Económica del Plan de Gestión

Las medidas contempladas en el presente Plan ascienden a un valor actual de costos de 9.600 Mill (\$), donde todas las acciones están evaluadas a un máximo de 10 años. El costo anual equivalente CAE total asciende a 1.844 Mill (\$), con las mismas consideraciones de horizonte de evaluación indicadas.

La implementación de las iniciativas consideradas en el presente PEGH dependen principalmente de la inversión fiscal, por lo que toma especial relevancia la estrategia de financiamiento que permita implementar el Plan con éxito. Para ello, se debe tomar en consideración la posibilidad de que las iniciativas se acojan a subsidios y herramientas de política existente, o en su defecto se deberán definir programas específicos acorde a lo planteado en cada medida.

A continuación, se indican las acciones que debe asumir el mandante, y los distintos responsables institucionales, quien deberá asegurar la implementación de la iniciativa a través de la coordinación de distintos actores, asignando presupuesto público, y/o gestionando los fondos y/o programas relacionados.

2.3.6. Acciones Ejecutadas por DGA

Para tener una estimación, de lo que significa implementar el Plan de gestión de forma institucional, se realiza una valoración de las acciones propuestas para la DGA, donde se estima un monto de \$3.550 millones para la realización de 23 acciones.

De las acciones presentadas existe una mayoría, que se encuentra dentro del financiamiento sectorial, sin embargo, otras acciones, se deberían gestionar recursos extrasectoriales con el Gobierno Regional de La Araucanía.

Las iniciativas institucionales y sus costos asociados, el desglose de los costos de cada iniciativa y la descripción se encuentran en el Anexo K1.

2.3.7. Acciones Ejecutadas por Otras Instituciones

Respecto a la valorización de las acciones, que corresponden a otras instituciones vinculadas a los recursos hídricos, se estimó un monto de \$6.050 millones para la realización de 14 acciones.

● **3. Implementación del Plan**

A continuación, se explican los principales hitos identificados en la implementación del Plan de Acción, atendiendo a su horizonte (corto, mediano o largo plazo), junto con algunas directrices a considerar para el éxito del Plan de Acción, tanto en lo relativo a la estrategia de su implementación como difusión. Finalmente, se incluye un resumen con la identificación de las fuentes de financiación previstas.

3.1. Hitos de Referencia en la Implementación del Plan

Respecto de la estructura del Plan Estratégico de Gestión Hídrica de la Cuenca del río Imperial (PEGH) y los principales hitos, considerando la variable temporal para las iniciativas asociadas al Plan de Acción, se tienen las siguientes etapas:

3.1.1. Estructura del Plan de Gestión

Según lo señalado en el numeral 6.3 del presente estudio, el PEGH se estructura en torno a 3 ejes, y sus acciones se agrupan en 5 tipos. Estas acciones se han ajustan a tres horizontes de acción.

- Horizonte de corto plazo, acciones cuya ejecución se puede llevar a cabo entre 0 a 5 años de implementado el PEGH.
- Horizonte de mediano plazo, acciones cuya ejecución se puede llevar a cabo en plazo mayor a 5 años hasta 10 años de implementado el PEGH.

- Horizonte de largo plazo, acciones cuya ejecución se puede llevar a cabo a más de 10 años de implementado el PEGH.

El 62,5% de las acciones se deberán implementar a mediano plazo, mientras que el 27,0% se implementará a corto plazo y tan solo el 10,8% se contempla para largo plazo.

El 54,1% de las acciones corresponden a Medidas de Gestión, el 10,8% corresponde a medidas de Gobernanza, el 18,9% corresponde a Obras Hidráulicas, el 10,8% corresponde a Generación de Información y el 5,4% corresponde a Nuevas Fuentes.

3.1.2. Corto Plazo

Se cuenta con 10 acciones de corto plazo del PEGH, que incluyen 7 Medidas de Gestión, 2 Obras Hidráulicas y 1 Generación de Información. Con estas acciones se abarcan los 3 ejes definidos. En la Figura 8-1 y Figura 8-2 se observa cómo se componen las 10 acciones de corto plazo según el tipo de acción y el eje sobre el cual están estructuradas. En la Tabla 8-2 se observan los nombres de las acciones a corto plazo.

Como hito de referencia, destacamos la iniciativa de MG7, esta acción se considera relevante en el sentido de que el plan busca gestionar de forma adecuada los recursos hídricos de la cuenca, y para esto conocer detalladamente los usuarios de la cuenca y sus interacciones con la cuenca y los otros usuarios se consideran por parte del consultor como el punto de partida para el desarrollo del resto de las acciones, por tanto esta información permitirá orientar espacialmente de mejor forma el resto de las acciones.

De igual forma, se considera relevante la acción MG15, ya que a partir de esta se busca contribuir a reforzar la seguridad hídrica, evitando acciones de usurpación de agua, que se han dado en otras cuencas del país, que presentan un estrés hídrico mayor al de la cuenca del Río Imperial.

3.1.3 Mediano Plazo

Se cuenta con 23 acciones de mediano plazo del PEGH, que incluyen 11 Medidas de Gestión, 4 de Gobernanza, 3 de Generación de Información, 3 de Obras Hidráulicas y 2 de Nuevas Fuentes, siendo el horizonte que presenta la mayor cantidad de acciones, equivalente al 62,2% del total de acciones. Estas acciones abarcan los 3 ejes definidos. En la Figura 8-3 y Figura 8-4 se observa cómo se componen las 25 acciones de mediano plazo según el tipo de acción y el eje sobre el cual están estructuradas. En la Tabla 8-3 se observa los nombres de las acciones a mediano plazo.

Como hito inicial de referencia, destacamos las acciones GI1, GI2 y GI3, las buscan generar nueva información para actualizar y mejorar el modelo hidrogeológico de la cuenca del Río Imperial. Entendiendo que estas acciones permitirán contar con un mejor conocimiento de la cantidad de recursos hídricos subterráneos de la cuenca y los parámetros para poder contar con una gestión sustentable de estos recursos.

De igual forma, se considera relevante la acción G1 que busca generar las definiciones adecuadas para poder contar con las nociones bases para generar políticas adecuadas para cada cuenca según su orientación.

3.1.4. Largo Plazo

Se cuenta con 4 acciones de largo plazo del PEGH, que incluyen 2 Medidas de Gestión y 2 de Obras Hidráulicas. Estas acciones abarcan los ejes de 1 y 2. En la Figura 8-5 y Figura 8-6 se observa cómo se componen las 4 acciones de largo plazo según el tipo de acción y el eje sobre el cual están estructuradas. En la Tabla 8-4 se observa los nombres de las acciones a largo plazo.

Como hito inicial de referencia, se destaca la acción MG16, ya que contempla la implementación de una organización con facultades directoras para el manejo de las políticas y vocaciones sobre la gestión de los recursos hídricos de la cuenca.

3.2. Éxito del Plan de Acción

El éxito de la ejecución del Plan se encuentra asociado a diversos aspectos, lo que se indican a continuación.

3.2.1. Aspectos Institucionales

Es de especial relevancia contar con la institucionalidad adecuada para poder ejecutar el PEGH Imperial.

Para lo anterior se ha tienen las siguientes consideraciones:

- Infraestructura hidráulica. Existe una institucionalidad pública para el desarrollo de obras de acumulación mayores, las cuales se ejecutan de acuerdo a las estratégicas institucionales ministeriales, sus objetivos de gestión, indicadores de desempeño, cronograma de gastos y nivel de ejecución presupuestaria; la toma de decisiones con respecto al gasto público en materias de gestión hídrica (subsidios, fondos concursables, FNDR, entre otros), será en base a los lineamientos presentados anteriormente. Cabe señalar que el desarrollo de este tipo de institucionalidad pública se trabaja principalmente a nivel central, con herramientas a nivel cuenca limitadas o no existentes. Así mismo existe una institucionalidad pública para el desarrollo de

mejora sobre canales. No obstante, dependiendo de la envergadura de la infraestructura a mejorar, para su aplicación será necesario un acuerdo entre los potenciales beneficiarios, en el caso de obras colectivas o; en el caso de obras particulares, serán iniciativas que podrán desarrollar los propietarios sin limitaciones institucionales.

- Apoyo para la eficiencia de riego a nivel predial. Existe una institucionalidad pública para el apoyo a este tipo de iniciativas, cuyas herramientas de ejecución se gestionan principalmente nivel central, con apoyo técnico a nivel regional o provincial, con limitadas o nula existencia de evaluación a escala cuenca. Sin embargo, pueden tratarse también de iniciativas que pueden ser aplicadas por los propietarios interesados, sin limitaciones institucionales.
- Recarga artificial de acuíferos. En general se trata de actividades que debieran ser coordinadas y evaluadas a nivel de SHAC y/o cuenca. Este tipo de acción queda condicionada al actuar de privados, quienes, a través de instancias de relación con entidades públicas o convenios público-privados, pueden acceder a ejecutar este tipo de acciones, por lo que la realización de estas medidas dependerá de las capacidades técnicas-organizacionales de cada grupo de actores interesados.

3.2.2. Aspectos de Cultura del Agua

Algunas condicionantes culturales para la implementación de ciertas iniciativas son:

- Vocación de la cuenca. La cuenca del río Imperial es rica en recursos naturales, silvicultura, ganadería, granja y con una incipiente actividad turística. A pesar de esto se encuentra inserta en la región más pobre de Chile, con altas tasas de pobreza y desigualdad. En este sentido, la economía del territorio depende de forma principal de la agricultura y la silvicultura, que corresponden a los sectores primarios.
- Otro aspecto particular de esta cuenca corresponde a la población indígena presente en el territorio, quienes cuentan con su propia cosmovisión sobre las aguas superficiales y subterráneas.
- Implementación de infraestructura hidráulica de conducción. Los proyectos de encauzamiento pueden causar un potencial rechazo de la comunidad, en tanto que existe una cultura arraigada relativa a la visualización del recurso hídrico circulante por la red de canales. Así mismo, el revestimiento de canales de tierra a mejoramientos con hormigón o geomembrana puede generar conflictos por su afectación a usuarios de aguas subterráneas, en mayor o menor medida según el conocimiento técnico, especialmente hidrogeológico, que tengan los actores involucrados.

- Apoyo para la eficiencia de riego a nivel predial y a pequeña escala. En el caso de agricultores y especialmente de pequeños campesinos (INDAP), las costumbres y los hábitos de riego dificultan la evolución hacia riegos con frecuencias y dosis más eficientes.
- Recarga artificial de acuíferos. En el diseño de proyectos de recarga en ocasiones se presentan limitaciones asociadas a la falta de información relativa a las características hidrogeológicas de los acuíferos, causando reticencias entre actores involucrados por la afectación sobre sus DAA.

3.2.3. Aspectos de Financiamiento

El financiamiento es, en general, un aspecto limitante en el desarrollo de iniciativas públicas. Las condicionantes financieras incluyen, por ejemplo, restricciones de financiamiento que podrían impedir la implementación de una o varias iniciativas en el año programado, aunque tenga evaluaciones económica, social y ambiental favorables.

3.2.4. Aspectos Normativos

Los aspectos normativos relevantes del PEGH guardan relación con las disposiciones existentes en las leyes y normativa vigente que pueden tanto facilitar y favorecer ciertas iniciativas como limitar y/o impedir otras. Actualmente, existen políticas y estrategias intersectoriales que promueven la coherencia entre políticas de agua ("Código de Aguas") y áreas clave como, por ejemplo, medio ambiente (Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente), salud (Decreto 735 Reglamento de los Servicios de Agua Destinados al Consumo Humano), agricultura (Ley 18.450 Normas Para el Fomento de la Inversión Privada en Obras de Riego y Drenaje), planificación territorial (Decreto 458 Ley General de Construcciones y Urbanización), entre otros.

En este sentido, se debe reconocer el rango constitucional de las aguas como bienes nacionales de uso público a fin de que sea posible su adecuada regulación mediante leyes específicas correspondientes y que intégre los acuerdos internacionales sobre los derechos humanos especialmente el derecho humano al agua, como un derecho inalienable equivalente al derecho a la vida.

Igualmente se diera considerar aspectos como restablecerse las prioridades de uso cambiar o ampliar la opción de constituir derechos de aprovechamiento de aguas a un mecanismo como concesiones de carácter administrativo de un bien nacional de uso público otorgadas a particulares, esencialmente temporales, sujetas a caducidad si no se usan, y sujetas a limitación en consideraciones a prioridades como conservación de la naturaleza y acceso al agua de las personas y la naturaleza.

También debiera analizarse los alcances y duplicidades normativas del caudal ecológico mínimo y caudal ambiental proponer que se adopten los ajustes normativos y legales que correspondan.

Se deben generar normativas, políticas y acciones respecto del uso eficiente del agua, como un recurso cada vez más escaso, debe hacerse de forma eficiente, particularmente la agricultura y otros usos intensivos del agua, que permita y promueva la adopción de tecnologías que reduzcan los requerimientos de agua y de esta forma descomprimir la creciente demanda sobre este recurso.

3.2.5. Pasos en la Implementación

La implementación del Plan de Acción dependerá de diversos factores, entre ellos:

- Identificación de responsabilidades institucionales.
- Financiamiento disponible.
- Externalidades positivas o negativas propias de cada medida.

3.3. Estrategia de Comunicación

3.3.1. Comunicación y Difusión durante el Desarrollo del Estudio

La estrategia de comunicación del PEGH considera la difusión y discusión de este con actores del ámbito público, privado y de la sociedad civil. Se realizaron diversos tipos de actividades participativas, tales como, reuniones virtuales, comunicación vía e-mail, conversaciones telefónicas, mensajería WhatsApp y encuesta on-line. Los principales actores que participaron de estas actividades durante el desarrollo del presente estudios fueron: Actores Públicos, Actores Privados, Actores de la Sociedad Civil, Organizaciones de Usuarios de Agua, Comunidades Indígenas y Organizaciones Territoriales, Culturales, Medio Ambientales y/o Académicas.

Es importante destacar que todas estas actividades tuvieron el doble objetivo de (i) comunicar y difundir los alcances del PEGH y, al mismo tiempo, (ii) recopilar la opinión y la visión de conjunto de los distintos actores involucrados, directa o indirectamente, en la gestión hídrica de la cuenca del río Imperial. Para más detalles ver "Anexo I: Participación Ciudadana (PAC)".

3.3.2. Comunicación y Difusión del PEGH en Fases Posteriores

La estrategia comunicacional del PEGH tiene como público objetivo al conjunto de actores del territorio relacionados directa o indirectamente con la gestión hídrica de la cuenca. Se pueden agrupar en cinco (5) categorías según sus grados de influencia e interés.

- **Influencia Alta - Interés Alto (actores prioridad 1):** En este segmento se encuentran el servicio público MOP-DGA Nivel Nacional, y las OUAs destacando aquellas con liderazgos fuertes tanto en la zona norte de la cuenca, Canal Chufquén y la JdV del Cautín, como en la zona sur, Canal Quepe Norte y Sur. También están en esta categoría las comunidades indígenas, en la cuenca existen 1.423 comunidades.
- **Influencia Alta - Interés Bajo (actores prioridad 2):** Aquí se ubican los servicios públicos MOP-DGA, DOH y SISS, Región de La Araucanía.
- **Influencia Media - Interés Alto (actores prioridad 3):** En esta categoría encontramos a los servicios públicos de MINAGRI-CNR e INDAP, de la Región de La Araucanía. Además de los actores del sector productivo vinculados a la producción agrícola, donde destaca la SOFO - Sociedad de Fomento Agrícola de Temuco. También caen en esta categoría los actores de la sociedad civil vinculados a los Comités de Agua Potable Rural (APR); en la cuenca existen 168 APR.
- **Influencia Media - Interés Medio (actores prioridad 4):** En esta categoría encontramos a los servicios públicos de la CONADI y el MMA. También se encuentran en esta categoría las organizaciones de la sociedad civil, como el Movimiento Cautín Libre, y el mundo académico, donde destaca el Observatorio Ciudadano.
- **Influencia Media - Interés Bajo (actores prioridad 5):** Aparecen en esta sección los Municipios. Además, se encuentran la mayoría de los actores productivos de los rubros forestal, hidroeléctricas, pisciculturas, minería y sanitarias.

La propuesta de comunicación y difusión considera la creación de una página web abierta a la comunidad con información disponible sobre el PEGH, sus objetivos y los avances de sus iniciativas o acciones. Adicionalmente, consideramos relevante que esta plataforma incluya información técnica sobre los recursos hídricos de la cuenca (ej. caudal de los ríos y niveles de aguas subterráneas). Cabe señalar, que el 98% de los encuestados consideró relevante contar con esta información la que debe ser gestionada y administrada por la DGA a través de un sitio web oficial de acceso público y validado por la autoridad. Para lo que se recomienda que exista una persona con conocimiento íntegro del PEGH que esté encargada de actualizar la información y resolver dudas o consultas de terceros sobre el avance de las medidas.

3.4. Identificación de Fuentes de Financiamiento del Plan

Las instituciones públicas y privadas implicadas en el financiamiento de las iniciativas del PEGH se describe en el acápite Valorización económica del plan de gestión del Informe Final.

4. Monitoreo y Evaluación del Plan

En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH del Río Imperial, así como los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados.

4.1. Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo (PM) asociado al PEGH tiene por objetivo establecer el seguimiento y la eficacia de su implementación, determinando los indicadores que permitan trazar el grado de cumplimiento de las iniciativas y de los objetivos del PEGH. Adicionalmente, se especifican los mecanismos para la actualización y/o el rediseño del PEGH, como instrumento de planificación a mediano y/o largo plazo.

La cartera de acciones del PEGH considera 42 iniciativas que corresponden a propuestas, las cuales según lo establecido en el numeral 8.1, fueron establecidas en 3 horizontes de tiempo para sus evaluaciones y acciones correctivas.

El PM centrará como índice de cumplimiento, la implementación de las iniciativas propuestas. Esto supone un esfuerzo de coordinación entre los diferentes servicios públicos, entendiendo que el recurso hídrico corresponde a una preocupación transversal y el uso y la gestión de estos recursos recae, directa e indirectamente, sobre múltiples actores del territorio.

El PM se centrará, en primer término, en dar seguimiento anual a los indicadores establecidos para los primeros 5 años, que corresponde al horizonte de corto plazo definido en el numeral 8.1.1. Para los períodos subsiguientes, es decir, los horizontes de mediano y largo plazo, el PM evaluará, actualizará y reestructurará las acciones, según lo establecido en el numeral 9.2.

Cabe señalar que, en el PM las acciones no deben ser inamovibles, sino que año a año deberá evaluarse su vigencia y aplicabilidad en función de la institucionalidad regente y aquella que se encuentre en discusión. El PEGH debe inclusive considerar la implementación de nuevas acciones que se encuentren asociadas a la implementación de nuevas normativas y las restricciones sobre los territorios y recursos naturales, como por ejemplo la futura Ley Marco de Cambio Climático.

Para el horizonte de corto plazo, la coordinación del PEGH corresponderá a la DGA regional, en la medida de que la gobernanza así lo indique. Por otro lado, el monitoreo se propone sea desde la DGA Nivel Central, quien deberá monitorear la totalidad de los PEGH a nivel nacional. Sin embargo, el PEGH debe tender a organizar un Organismo rector para la gestión de la cuenca.

Los indicadores y seguimiento propuestos para el Plan de Monitoreo se detallan a continuación.

4.1.1. Indicadores de la Evaluación de las Iniciativas

En cada una de las iniciativas identificadas en el PEGH se han identificado uno o varios indicadores de evaluación de las acciones, con el objetivo de analizar de forma particular y general los resultados obtenidos con su implantación respecto al objetivo esperado y su problemática original. Estos indicadores se presentan en el Anexo K4.

4.1.2. Indicadores del PEGH

En el establecimiento de indicadores del PM, se han considerado experiencias anteriores en planificación hídrica; específicamente, se ha tomado como referencia principal el último instrumento de características similares promovido por la DGA.

De esta forma se consideran los siguientes indicadores, que se detallan en el Anexo K2:

- Indicadores Generales: PIC, PICa, PIF y PIFa.
- Indicadores Específicos. Porcentaje de avance de la implementación de las 2 iniciativas propuestas de gobernanza que poseen efecto directo y estratégico en el éxito de ejecución de otras iniciativas de diferentes tipologías (OH, MG, G, NF y/u GI) y del instrumento en su conjunto, siendo éstas: i) MG7 y ii) MG16. Lo anterior se refuerza con el hecho de que la participación de los potenciales beneficiarios en cada medida del PEGH refuerza el éxito de estas, y que las instancias generadas en un marco de buenas prácticas derivadas del servicio de facilitación son necesarias para dicho objetivo

En el Informe Final se detalla el seguimiento del PEGH Imperial con los indicadores presentados anteriormente, así como el Plan de Acción.

4.1.3. Seguimiento del PEGH

El seguimiento del PEGH Imperial se expone en la Tabla 9-1, detallando los indicadores generales y específicos, los parámetros de referencia en cada caso y el umbral establecido.

Según lo establecido en el numeral 0, se presenta seguidamente el Plan de Acción a considerar en el supuesto que no se hayan cumplido con los umbrales fijados en la Tabla 9-1, teniendo en cuenta que el PM se divide en dos períodos, los primeros 4 años y el año 5:

- Primer período (año i hasta $i+4$): El objetivo del Plan de Acción en este período consiste en reprogramar o replanificar las iniciativas que se encuentren atrasadas para el año siguiente al originalmente programado. Su valor corresponderá al número de iniciativas mínimas programadas para un determinado año (PIC, 80% anual) más las iniciativas retrasadas acumuladas.
- Segundo período (año $i+5$): El objetivo del Plan de Acción en este período es analizar si el PEGH ha cumplido en un 100% con su planificación. En caso negativo, el PM entregará el número de iniciativas que no fueron ejecutadas, información que será una variable de entrada en la evaluación, actualización y rediseño del PEGH, a través de los mecanismos para el análisis y toma de decisiones (numeral 9.2).

4.2. Mecanismos para el Análisis y Toma de Decisiones

Según lo indicado anteriormente, el PEGH necesariamente tiene una componente dinámica, la cual puede llegar inclusive a la eliminación de acciones de manera posterior, considerando que algunas iniciativas relativas a los recursos hídricos, las cuales van de la mano con las variaciones asociadas a diferentes variables, como la gobernanza, las normativas y sus modificaciones o al cambio climático, afectando directamente la oferta hídrica, así como también los cambios asociados a las demandas de agua sobre la cuenca. Por lo anterior, es que se hace necesario que el PEGH debe ser evaluado con el fin de determinar si la planificación ha sido llevada a cabo en tiempo, contenido y oportunidad, considerando para esto las iniciativas que se deben incorporar en el corto plazo (5 años), así como también evaluar los siguientes horizontes y si es necesario efectuar las adaptaciones que correspondan según lo que se ha señalado.

El mecanismo de análisis y toma de decisiones expone en primer lugar, la metodología a considerar, y luego cómo debe ejecutarse la etapa de reformulación del PEGH.

En relación al análisis del PEGH para su reformulación, se debe considerar los siguientes aspectos:

1. Actualización del diagnóstico en la cuenca del río Imperial en materia de recursos hídricos considerando al menos los siguientes aspectos:

- i. Brechas entre oferta y demanda.
- ii. Brechas en infraestructura.
- iii. Situación de gobernanza en la cuenca.
- iv. Estado ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca.
- v. Actualización de la cartera actual de acciones, tanto a nivel público como privado.
- vi. Actualización del modelo hidrológico superficial y subterráneo con la nueva data disponible, resolviendo brechas de modelización que hubieron quedado no resueltas durante el diseño del PEGH original.
- vii. Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.
- viii. Evaluación del resultado del Plan de Monitoreo el año i+4, mediante la cuantificación de las iniciativas no comenzadas/finalizadas del PEGH.

En base a lo anterior, la DGA o el organismo rector de los recursos hídricos que corresponda a la fecha de implementación, deberá establecer la forma de abordar la reformulación del PEGH, ya sea a través de medios propios o con apoyo externo al servicio responsable, estableciendo:

- Revisión y/o actualización de los ejes y objetivos específicos del PEGH.
- Revisión y/o actualización de las iniciativas ya iniciadas, e incorporación de nuevas acciones, a corto/mediano/largo plazo.
- Si corresponde, actualización del Plan de Monitoreo asociado al PEGH.

5. Modelos de Simulación Desarrollados

5.1. Modelo de Simulación Superficial

Se construyó modelo de simulación WEAP, cuyos detalles sobre la construcción y calibración se encuentran en el Anexo H del Informe Final del Informe Final (numeral 1.3 del Anexo H). Los archivos ejecutables del modelo WEAP también se encuentran disponibles en el Apéndice 7 del Anexo H.

5.2. Interacción Modelo Superficial y Subterráneo

5.2.1. Esquema de Interacción

Los modelos superficial y subterráneo no se encuentran acoplados paso a paso. Esto se sustenta en que la cuenca se encuentra en una fase muy temprana de modelación ya que el modelo Modflow anterior es del 2016 y no existía hasta el presente estudio, un modelo WEAP de la cuenca completa. Esto implica que se deben resolver aún muchas brechas de

modelación, y afinar los procesos representados de modo tal de mejorar la correspondencia que existe entre la parte superficial y la parte subterránea.

En el presente estudio, ambos modelos se han integrado de forma implícita (externa) mediante el traspaso de las recargas generadas en el modelo superficial hacia el subterráneo.

5.2.2. Recargas Estimadas por Modelo Superficial

Las recargas estimadas por el modelo superficial pueden verse en el Apéndice 9 del Anexo H.

5.3. Modelo de Aguas Subterráneas

Los detalles sobre la construcción y calibración del modelo se encuentran en el Anexo H del Informe Final (capítulo 3 del Anexo H). Los archivos ejecutables del modelo WEAP también se encuentran disponibles en el apéndice 8 del Anexo H.

El detalle del modelo se puede revisar en Anexo H: Modelo Hidrológico, donde se detallan los cambios efectuados y los resultados obtenidos de la recalibración del modelo con los nuevos supuestos adoptados.

5.3.1. Sustentabilidad en los Acuíferos

La evaluación de sustentabilidad de sistemas acuíferos según los lineamientos dados por la DGA se basa en 5 criterios que deben ser evaluados, a saber: Descensos sustentables en el tiempo, Interferencia río-acuífero, satisfacción de la demanda, pozos secos y afectación a sectores abiertos.

Los cuatro primeros criterios requieren una estimación cuantitativa del recurso existente y su variación en el tiempo, lo que implica el conocimiento del comportamiento previo del acuífero para obtener una calibración del modelo hidrogeológico que sustente cualquier estimación futura que se realice. La ausencia de información que permita sustentar este tipo de análisis sólo permite realizar análisis subjetivos sobre el acuífero, de carácter referencial y que pueden dar luces del comportamiento futuro, es decir, permite conocer posibles tendencias a partir de supuestos efectuados para construir simulaciones predictivas.

La estimación de descensos en un marco de explotación sustentable requiere cuantificar la capacidad de almacenamiento real del acuífero, idealmente mediante la calibración de niveles de larga data, ya que, si bien las pruebas de bombeo pueden entregar información

al respecto, se trata de mediciones muy puntuales, tanto en el tiempo como en el espacio y sólo permiten tener una idea local de dichas propiedades.

En cuanto a la interferencia río-acuífero y la satisfacción de la demanda, éstas también se encuentran fuertemente ligadas a la capacidad de almacenamiento del acuífero, y si bien se ha realizado un esfuerzo en caracterizar la interacción río-acuífero, sólo se cuenta con información puntual de dicha interacción, lo que tampoco permite evaluar comportamientos a largo plazo, lo mismo para las extracciones desde pozos de bombeo, lo que también afecta a la presencia de "pozos secos" en el modelo.

Por último, la evaluación de la afectación sobre sectores abiertos depende de la correcta capacidad de evaluación de los puntos anteriores.

Dada las razones expuestas, se considera que para realizar una evaluación de sustentabilidad en los sistemas acuíferos, primero se debe contar con información suficiente para evaluar los criterios mencionados, principalmente series de nivel en pozos de observación con data extensa como para efectuar una calibración transiente del modelo hidrogeológico, así como evaluación de la interacción río acuífero en distintas épocas del año, ya sea mediante el uso de trazadores y/o variación térmica en el cauce, por ejemplo.

5.4. Escenarios de Modelación

5.4.1. Usos Analizados e Indicador "Satisfacción de la Demanda" (SD)

Los usos analizados en los Escenarios corresponden únicamente a aquellos que fueron explícitamente modelados. Estos son:

- 1) Agua Potable
- 2) Riego
- 3) Hidroelectricidad
- 4) Caudales ecológicos¹

Los resultados se han resumido a través del indicador "Satisfacción de la Demanda" (SD) para los distintos usos modelados, lo que corresponde al porcentaje de agua entregada respecto de la cantidad demandada. Este indicador es calculado y entregado directamente por WEAP dentro de su set de resultados bajo la denominación "*Coverage (% of*

¹ Cabe señalar que este elemento se incluye únicamente en aquellos tramos en los que el caudal ecológico se encuentra definido por acto administrativo oficial como Decretos, Resoluciones de Calificación Ambiental o que queden establecidos como exigencia en el marco de un otorgamiento de DAA.

requirement met)". Los resultados de SD de los distintos escenarios, junto con otros resultados relevantes, se pueden consultar directamente en WEAP (Apéndice 8 de Anexo H), sección de resultados. Los resultados de SD se encuentran en el menú "Favoritos", gráficos "Demand Site Coverage (*% of requirement met*)" y "Flow Requirement Coverage (*% of requirement met*)". En las Tablas de resultados del presente informe, la SD se entrega promediada por Uso.

Otros usos menores como el Industrial, turístico, agropecuario, entre otros, no se encuentran modelados de forma explícita ya que la información referente a estos usos no se encuentra en calidad o estructura necesaria para poder ser incluida en el modelo. No se encuentra georreferenciada por extracción ni tampoco existe claridad de si se encuentra o no separada de otras extracciones asociadas a otros usos. Por ejemplo, muchas industrias obtienen agua directamente de la red de agua potable, otras la obtienen desde canales de riego con sus respectivos DAA. Modelar estas cantidades suponiéndolas como "captaciones independientes" implicaría duplicación de demandas. Este aspecto constituye una de las brechas informadas más adelante en el apartado "Comentarios finales y brechas" del presente Informe.

5.4.2. Período Histórico (Caso Base)

La modelación del Período Histórico abarca desde abril de 1990 a marzo de 2020 (30 años hidrológicos), y corresponde al modelo calibrado y validado sin cambios adicionales.

5.4.3. Escenario 0: Cambio Climático

El escenario de Clima Futuro se construyó sobre la misma base del modelo Histórico, al cual se le cambiaron las forzantes meteorológicas Precipitaciones mensuales (PPM) y Temperaturas medias mensuales (TMM), por aquellas generadas por el modelo de Circulación Global CSIRO-MK3.6 (en adelante CSIRO), cuyos datos fueron procesados y escalados para Chile en el marco del estudio "Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de la Macrozona sur y parte norte de la Macrozona Austral" (DGA, 2019). Se escogió CSIRO ya que, de los 4 Modelos de Circulación Global empleados en DGA (2019), es el que presenta un comportamiento más estable en las cuencas ahí analizadas, manteniendo el indicador de variación porcentual de los caudales y precipitaciones en el rango entre 5 y 10% en todas las cuencas, no así los otros modelos en los que este indicador presenta mayor dispersión.

5.4.4. Escenarios de Gestión Específicos

Se definieron 3 escenarios de gestión para ser modelados, con el propósito de determinar la respuesta del sistema frente a distintas estrategias definidas para abordar la brecha hídrica. Estas iniciativas propuestas han surgido durante el desarrollo del presente estudio, considerando la especificidad de la cuenca a través de las actividades de Participación Ciudadana, del análisis de los antecedentes recopilados en coordinación con la DGA y del diagnóstico realizado.

Lo identificado, en la actividad de la PAC define los escenarios a modelar ya que ésta refleja las visiones y percepciones de los grupos que están en el territorio, colectivos de la sociedad civil y organismos públicos. La evaluación de los escenarios propuestos no limita la incorporación de distintas alternativas al Plan estratégico elaborado.

Los escenarios que fue posible definir son los siguientes:

- Escenario 1: Reserva de caudales superficiales para pueblos indígenas.
- Escenario 2: Obra de regulación
- Escenario 3: Determinación de caudales para satisfacer demanda de agua potable rural en población semi concentrada y dispersa.

Es importante señalar que los modelos construidos deben ser fortalecidos en una etapa posterior antes de ser usados o considerados como base de estrategias, acciones y/o programas locales, en atención a que se requiere de más información y trabajos de terreno orientados a robustecerlos.

Todos los escenarios de gestión corren bajo la Situación de Cambio Climático (Clima futuro). En WEAP, los 3 escenarios de gestión específicos se encuentran anidados bajo el escenario macro "Clima Futuro".

5.5. Brechas de Modelación

5.5.1. Aguas Superficiales

Las brechas de modelación identificadas para la cuenca de Imperial se pueden resumir en los siguientes aspectos principales:

- i. Escasa información sobre extracciones georreferenciadas. Lo ideal es poder contar con un catastro de extracciones actualizado, verificado en terreno.
- i. Escasa información actualizada sobre infraestructura de riego (canales, tranques, etc.) georreferenciada.

- ii. Escasa y desactualizada información sobre ubicación y extensión de superficie regada.
- iii. No existen estaciones fluviométricas en el tramo bajo del Imperial, específicamente en el tramo entre la confluencia de los ríos Cautín y Cholchol y la desembocadura en el mar. Es importante poder controlar este tramo ya que en él se resumen los balances de la cuenca completa.
- iv. La modelación del Agua Potable Urbana puede ser mejorada incorporando la presencia de las plantas de tratamiento y separando el proceso completo mediante 3 nodos: uno para la planta de Potabilización, uno para la ciudad propiamente tal y un tercer nodo para la planta de tratamiento (para lo cual WEAP ya posee el elemento específico "Wastewater Treatment Plant").
- v. Las zonas de riego modeladas como Demand Site, en el formato original de WEAP, no permite ligar las demandas de riego con el clima de forma interna en el modelo. Por otro lado, si se modelan con la opción "Catchment with irrigation" se pierde control sobre los requerimientos de los cultivos ya que bajo esa modalidad el modelo se basa en la humedad del suelo para priorizar el riego, por lo que habría que calibrar ese proceso para que coincida con los cálculos de la demanda. Una adecuada forma de modelarlo sería internalizar el proceso del cálculo de la demanda de riego dejándolo inmediatamente ligado a las variables del clima que lo determinan.
- vi. La modelación de las centrales hidroeléctricas de pasada, idealmente se debe realizar usando los caudales de diseño de dichas centrales, los cuales no necesariamente son iguales al caudal de DAA, comúnmente son menores. Esto implica que los caudales de generación resultantes del modelo actual estarían sobreestimando la producción energética. Este aspecto puede ser corregido mediante la incorporación del caudal de operación o diseño de cada central.
- vii. No existe información en calidad y/o estructura suficiente para modelar otros usos de menor relevancia tales como el turístico, acuícola, industrial, etc. Todo lo asociado a esta brecha se puede solucionar adoptando el enfoque que se explica en el siguiente punto.
- viii. En general el enfoque de "usos" no es adecuado para la modelación. Es preferible usar el enfoque basado en "extracciones" ya que estas se pueden catastrar y georreferenciar y también ligar a su respectivo DAA, tras lo cual recién se le puede asignar un uso. Existen industrias, por ejemplo, que se abastecen de la red de agua potable, de canales de riego o pozos. En el primer caso, el caudal

ya se encuentra contabilizado como "agua potable", en el segundo caso como "riego" y en el tercer caso podría asignado a un uso "industrial" siempre y cuando el DAA esté solicitado para ese uso. Ante esto existe un largo camino por recorrer en este aspecto para la mejora de las herramientas de modelación.

El poder abordar estas brechas impactaría positivamente en la mejora de la herramienta de modelación que ha sido construida en el marco del presente estudio.

5.5.2. Aguas Subterráneas

Las brechas en la modelación de aguas subterráneas identificadas para la cuenca de Imperial son de mayor relevancia que las detectadas para la modelación de aguas superficiales y se pueden resumir en los siguientes aspectos principales:

- i. El modelo base utilizado para este estudio (Arcadis 2016) cubre el tramo central de la cuenca del río Imperial y no considera en el área activa de modelación, los sectores occidental y oriental de la cuenca, en particular, la desembocadura del río Imperial, el valle Purén-Lumaco y las nacientes de los ríos Cautín y Quepe. En estos sectores, se detecta escasa o nula información fundamental para la construcción y alimentación del modelo, vale decir, profundidad del basamento, geometría acuífera, parámetros hidráulicos y niveles de agua subterránea. Para perfeccionar la construcción de un modelo hidrogeológico que represente y simule de manera adecuada y robusta el comportamiento de las aguas subterráneas a nivel de cuenca, se hace prioritario generar información básica en los sectores extremos de la cuenca, la que debe incluir como base campañas geofísicas con TEM y loop mínimo de 200 m, monitoreo de niveles, pruebas de bombeo y análisis de calidad de agua que consideren como mínimo medición de parámetros fisicoquímicos generales, cationes y aniones mayores e isótopos ambientales.
- ii. La información disponible para construir el límite inferior de la zona saturada del modelo subterráneo, vale decir el contacto del relleno sedimentario con el basamento rocoso impermeable, se encuentra en gran parte definido por datos indirectos, a partir de los estudios geofísicos realizados en la porción de cuenca modelada por Arcadis 2016, vale decir, sin información directa de estratigrafía de pozos, los cuales en su gran mayoría están habilitados en el tramo somero del acuífero.

Por otra parte, la geofísica empleada para generar esta información, en el caso del TEM fue insuficiente en alcance ya que no consiguió la penetración de

investigación requerida, al emplearse loops pequeños. En el caso de la gravimetría, no existe contraste de densidad entre las rocas volcánicas y sedimentarias antiguas (oligoceno-plioceno) y los sedimentos que rellenan el valle, por lo cual, se sobreestimó la profundidad del basamento. Se observa en algunos sectores, como por ejemplo en la cadena de cerros Ñielol, que la metodología empleada le asignó una condición en profundidad a esta unidad impermeable en sectores de relieve positivo donde estaba aflorando la roca. Para cubrir esta brecha se deben utilizar metodologías geofísicas que determinen la potencia saturada del medio estudiado, reconociendo el techo del acuífero y el basamento impermeable.

- iii. Considerando el modelo base (Arcadis 2016) para la definición de capas, se hace muy necesario tener información estratigráfica de toda la cuenca, identificando con bastante claridad las unidades acuíferas superior (libre) e inferior (confinada-semiconfinada) separadas por una capa de acuitardo. Los antecedentes utilizados para esta definición de capas corresponden a la medición de niveles estáticos en pozos someros (la mayoría de los datos disponibles) y algunos pozos profundos. Sin embargo, estos datos no son suficientes para establecer esta configuración acuífera, ya que la diferencia de carga hidráulica en un acuífero continuo puede estar dada por el punto donde se encuentra habilitado, situación que se da en zonas de recarga (mayor carga hidráulica en zonas profundas, flujo descendente) o descarga del mismo (mayor carga hidráulica en zonas someras, flujo ascendente). Por lo tanto, para poder tener una mejor definición de las capas del modelo es muy necesario construir pozos estratigráficos y de bombeo, reconocer las distintas unidades y realizar ensayos de bombeo focalizados en cada una de ellas para establecer su conexión hidráulica.
- iv. El modelo base identifica y menciona un caudal subterráneo pasante desde la cuenca del río Toltén hacia la cuenca del río Imperial, esto ocurre en el sector bajo de la cuenca, al poniente de la localidad de Freire y se identifica con la piezometría regional. No obstante ello, para una estimación razonable de la magnitud de este flujo no existe la información requerida para su cálculo. Para cubrir esta brecha se requiere calcular el caudal pasante, para lo cual es necesario: (1) mejorar el conocimiento de la piezometría local y determinar gradiente hidráulico, esto con monitoreo de niveles y, de ser necesario, construcción de piezómetros, (2) definir la sección de acuífero por donde fluye

este caudal, para lo cual se debe realizar un perfil geofísico, perpendicular al flujo, y (3) realizar en los pozos del sector pruebas de bombeo para determinar la transmisividad o la permeabilidad media de la sección acuífera.

- v. No existe ningún tipo de información del coeficiente de almacenamiento para las distintas unidades hidrogeológicas reconocidas en la cuenca. Este parámetro es fundamental para la calibración del modelo en régimen transiente y, por consiguiente, para evaluar condiciones futuras con variaciones en la demanda o escenarios de cambio climático. Para cubrir esta brecha, se hace absolutamente necesario, construir pozos de bombeo y observación habilitados en cada uno de los acuíferos reconocidos en la zona y determinar con pruebas de bombeo de al menos 72 horas de duración, porosidad eficaz, para el caso de medios saturados libres, y almacenamiento específico, en el caso de medios saturados y confinados.
- vi. En el mismo sentido de la brecha anterior, con respecto a la información necesaria para calibrar el modelo en régimen transiente, y con esto simular escenarios futuros, existe escasa data de variación niveles estáticos, con una distribución puntual y acotada en el área del modelo, además de un periodo de registro exiguo (4 años), además de estar afectado, en algunos casos, por el propio bombeo del punto de monitoreo o de pozos vecinos. Para mejorar la calidad y cantidad de estos datos, se hace necesario habilitar o construir pozos, exclusivamente de monitoreo de niveles estáticos, alejados de radios de influencia de otros pozos y con registro continuo, que permitan relacionar las variaciones de la superficie equipotencial con la estacionalidad de los cursos de agua superficial y la demanda de agua subterránea.

El poder abordar estas brechas mediante acciones concretas y específicas según se ha relatado, impactaría positivamente en la mejora de la herramienta de modelación de aguas subterráneas que ha sido construida en el marco del presente estudio.