

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN DE PLANEAMIENTO
DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS**

**ESTUDIO BÁSICO
“ANÁLISIS REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA
DE LARGO PLAZO 2025-2055”**

ETAPA 4 - NACIONAL

INFORME FINAL

Preparado para:



marzo de 2025

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	Objetivo general	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
CAPÍTULO 2	REVISIÓN DE ANTECEDENTES	4
2.1	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	4
2.1.1	Antecedentes relativos gobernanza	4
2.1.2	Antecedentes relativos a demanda y oferta hídrica	5
2.1.3	Antecedentes relativos a cartera de iniciativas	7
2.2	REUNIONES CON CONTRAPARTE TÉCNICA	8
2.3	ENTREVISTA CON ACTOR CLAVE	8
CAPÍTULO 3	ANÁLISIS DE POLITICAS, ASPECTOS NORMATIVOS E INSTRUMENTOS VINCULADOS A LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS	10
3.1	SISTEMATIZACIÓN DE POLÍTICAS, ASPECTOS NORMATIVOS E INSTRUMENTOS DE LA OFERTA PÚBLICA ASOCIADA A LA SEGURIDAD HÍDRICA ACTUAL Y PROYECTADA DEL PAÍS, BAJO ESCENARIOS DE INCERTIDUMBRE POR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.	10
3.1.1	Normativas vigentes	11
3.1.2	Normativas en trámite	11
3.1.3	Políticas, planes y estrategias	11
3.2	ANÁLISIS DE POLÍTICAS, NORMATIVAS E INSTRUMENTOS RELATIVOS A SEGURIDAD HÍDRICA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE E INFRAESTRUCTURA	25
3.2.1	Normativa Vigente	25
3.2.2	Normativa en trámite	25
3.2.3	Políticas, planes y estrategias	25
CAPÍTULO 4	MARCO CONCEPTUAL Y LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS	27

4.1	SOBRE PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA A LARGO PLAZO	27
4.2	DIMENSIONES Y VISIÓN ESTRATÉGICA DEL ESTUDIO	30
4.2.1	Marco conceptual	30
4.2.2	Visión estratégica del estudio	32
4.2.3	Definición de dimensiones	33
4.3	GOBERNANZA E INSTITUCIONALIDAD INFRAESTRUCTURA HÍDRICA EN CHILE	36
4.3.1	Aspectos legales	36
4.3.2	Aspectos institucionales	38
4.3.3	Aspectos de planificación estratégica	41
4.3.4	Aspectos en el desarrollo económico-productivo	42
CAPÍTULO 5 DIAGNÓSTICO ACTUAL Y PROYECTADO DEL DESARROLLO DEL SECTOR HIDRICO NACIONAL		44
5.1	ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO	44
5.1.1	Análisis de demanda hídrica	44
5.1.2	Análisis de oferta hídrica	52
5.2	BRECHAS HÍDRICAS	64
5.2.1	Brechas de Balance Hídrico	64
5.2.2	Brechas Estratégicas	71
5.2.3	Evaluación de niveles de criticidad de las cuencas de Chile	80
5.3	ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	86
5.3.1	Infraestructura hídrica existente al año 2023	86
5.3.2	Brechas de infraestructura hídrica	89
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS EN ESCENARIOS DE DESARROLLO FUTURO SENSIBILIZADOS POR CAMBIO CLIMÁTICO		93
6.1	SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN	93
6.2	PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	94
6.2.1	Análisis de estancamiento crítico	95
6.2.2	Análisis de desafío gestionable	98
6.2.3	Análisis de capacidad limitada	100
6.2.4	Análisis de avance sostenible y resiliente	103
CAPÍTULO 7 CARTERA DE INVERSIÓN Y PROPUESTAS DE GESTIÓN Y POLÍTICA PÚBLICA		106
7.1	PROPUESTAS DE MEDIDAS DE GESTIÓN HABILITANTES INCLUIDAS EN LA CARTERA DE PROYECTOS	106
7.2	PROPUESTA DE GESTIÓN Y POLÍTICA PÚBLICA	112
7.3	CAUDALES DE RESERVA	115

CAPÍTULO 8	PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA	
HÍDRICA	119	
8.1	SEGURIDAD HÍDRICA NACIONAL: ESTADO DEL ARTE	119
8.1.1	Macrozona Norte: Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo.	119
8.1.2	Macrozona Centro: Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule	121
8.1.3	Macrozona Sur: Ñuble, Biobío, Araucanía y Los Ríos	123
8.1.4	Macrozona Austral: Los Lagos, Aysén y Magallanes.	124
8.2	EL FUTURO EXISTE EN EL POTENCIAL DEL PRESENTE: POLÍTICAS PÚBLICAS E INNOVACIONES	130
8.3	GOBERNANZA PARA EL FUTURO DESEADO: EL ROL DEL MOP Y ACTORES CLAVE	131
8.4	FRENTE A LA INCERTIDUMBRE: VISIÓN COMÚN PARA LA RESILIENCIA	132
8.5	MEGATENDENCIAS Y SUS POTENCIALES CONSECUENCIAS: ESCENARIOS DE DESARROLLO	132
8.6	ADAPTACIÓN COMO CAMINO PARA NAVEGAR LA INCERTIDUMBRE	137
8.7	SOLUCIONES SINÉRGICAS PARA PROBLEMAS COMPLEJOS: INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	137
8.8	MONITOREO Y ESTRATEGIAS DE CONTINGENCIA	140
CAPÍTULO 9	BIBLIOGRAFÍA	142

FIGURAS

Figura 4.2-1	Marco conceptual del rol que cumplen los servicios ecosistémicos, la seguridad hídrica y los niveles de productividad y eficiencia en el bienestar humano.	31
Figura 4.2-2	Dimensiones de Seguridad Hídrica y sus desafíos críticos (sub-dimensión) propuestos para Chile.....	32
Figura 4.3-1	Esquema de los niveles de coordinación y organismos que actualmente se vinculan a la gestión hídrica de una cuenca.	39
Figura 4.3-2	Diagrama simplificado de la institucionalidad que fija la ley marco de cambio climático	40
Figura 5.1-1	Distribución regional de la demanda hídrica para 2023 por uso (Consuntivo y Extractivo)	47
Figura 5.1-2	Distribución regional de la demanda hídrica para 2023 por uso (No Consuntivo y No Extractivo)	50
Figura 5.1-3	Distribución de restricciones según tipo de fuente, por cuenca	63
Figura 5.2-1	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 a nivel nacional – Criterio 1 y Criterio 2	67
Figura 5.2-2	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 a nivel nacional – Criterio unificado	68
Figura 5.2-3	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2055 a nivel nacional – Criterio 1 y Criterio 2	69
Figura 5.2-4	Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2055 a nivel nacional – Criterio unificado	70
Figura 5.2-5	Esquema para la evaluación de criticidad de las cuencas	80
Figura 7.1-1	Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica por región priorizadas en los primeros 10 años	109
Figura 7.1-2	Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica en los primeros 10 años	110
Figura 7.3-1	Caudales de reserva totales por región	117
Figura 8.1-1	Distribución de demanda nacional (%) por uso, según macrozona para el año 2023	127
Figura 8.7-1	Inversión total distribuida por Iniciativas Estratégicas para cada región en los primeros 10 años.....	139

TABLAS

Tabla 2.1-1	Listado de algunas fuentes de información relevantes asociadas a gobernanza en materia hídrica.....	4
Tabla 2.1-2	Listado de fuentes de información relevantes asociadas a demanda y oferta en materia hídrica.....	5
Tabla 2.1-3	Listado de fuentes de información relevantes asociadas a carteras de acciones o medidas en materia hídrica.....	7
Tabla 3.1-1	Normativa vigente relacionadas a seguridad hídrica.....	12
Tabla 3.1-2	Catastro de normativas en trámite relacionadas a seguridad hídrica.....	16
Tabla 3.1-3	Catastro de políticas, planes y estrategias (PPE) relacionadas a seguridad hídrica.....	21
Tabla 5.1-1	Proyección de la demanda hídrica consuntiva y extractiva por región en Chile (2023-2055).....	45
Tabla 5.1-2	Demanda hídrica para 2023 por región y sector de uso (Consuntivo y Extractivo).....	46
Tabla 5.1-3	Proyección de la demanda hídrica no consuntiva y no extractiva por región en Chile (2023-2055).....	49
Tabla 5.1-4	Demanda hídrica para 2023 por región y uso (No Consuntivo y No Extractivo), (Mm ³ /año).....	50
Tabla 5.1-5	Oferta hídrica histórica y proyectada para un caudal con probabilidad de excedencia del 85% (Mm ³ /año).....	53
Tabla 5.1-6	Escorrentía total y glaciario en periodo histórico 1985-2015.....	53
Tabla 5.1-7	Oferta hídrica actual de agua subterránea.....	56
Tabla 5.1-8	Restricciones en la oferta hídrica por tipo de fuente y restricción, para las cuencas afectadas.....	61
Tabla 5.2-1	Evaluación de niveles de criticidad de las cuencas de Chile.....	81
Tabla 5.3-1	Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas nacionales.....	87
Tabla 5.3-2	Universo y metas de infraestructura según tipología.....	90
Tabla 5.3-3	Brechas de infraestructura generales a nivel nacional.....	91
Tabla 5.3-4	Brechas de infraestructura generales a nivel nacional (continuación).....	92
Tabla 7.1-1	Presupuesto anual disponible por región.....	107

Tabla 7.1-2	Conservación anual por región	107
Tabla 7.1-3	Iniciativas asociadas a medidas de gestión habilitantes en cartera	111
Tabla 7.3-1	Caudal de reserva para protección ambiental actual y futuro por región ..	116
Tabla 8.1-1	Balance Hídrico Estructural Nacional Actual*	128

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

En Chile, igual que en muchas otras partes del mundo, los problemas relativos al recurso hídrico son complejos y cada vez con mayor repercusión debido a los múltiples objetivos a satisfacer y los efectos del cambio climático sobre los ciclos hidrológicos. Una muestra de esta realidad se refleja en el ranking global de estrés hídrico, donde el Instituto Mundial de Recursos (WRI, World Resources Institute), en su última actualización, situó a Chile en el lugar 18º, encabezando el grupo de países que presentan un alto riesgo de sufrir dicho estrés hídrico (WRI, 2019).

Es bajo este contexto que la Dirección de Planeamiento (DIRPLAN) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) dentro de sus funciones de planificación, debe identificar y prospectar los requerimientos de inversión en los distintos ámbitos de la infraestructura pública, incluida aquella orientada al manejo del recurso hídrico, la cual requiere ser analizada sobre la base de un enfoque territorial integrado, entendida la multiplicidad de requerimientos de los distintos sectores de demanda hídrica distribuidos en el territorio y sus cuencas.

Asimismo, es necesario contar con una mirada de desarrollo territorial de largo plazo, lo cual es especialmente relevante considerando tanto los efectos estructurantes que provoca la infraestructura pública en el desarrollo de los territorios, como los períodos de maduración de los proyectos de infraestructura y la cuantía de los montos de inversión asociados a su realización.

En este sentido, la elaboración del Plan Nacional de Infraestructura Hídrica 2025 -2055 puede significar un aporte relevante, dado que involucra una cadena de toma de decisiones, donde se combinan proyecciones con análisis territorial y un proceso ampliamente participativo de planificación estratégica con actores públicos y privados y una consulta ciudadana en todas las regiones del país. Las iniciativas que surjan de este proceso deberán ser robustecidas con el análisis y desarrollo de las propuestas de este estudio de apoyo, lo que concluirá en un conjunto integral de proyectos estratégicos de infraestructura hídrica idóneos y fundados para responder al diagnóstico de la situación hídrica actual (DIRPLAN, 2023).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Identificar una cartera de proyectos estratégicos y prospectar sus requerimientos de inversión, así como también identificar y proponer cuando corresponda, iniciativas de política pública, programas de inversión innovadores y/o medidas de gestión que permitan abordar los nuevos desafíos hídricos del país, a fin de contribuir con propuestas estratégicas en la componente hídrica del Plan Nacional de Infraestructura Hídrica 2025 -2055 con la finalidad de promover una mayor seguridad hídrica nacional para el desarrollo sostenible en el marco del cambio climático.

Lo anterior, orientado a dinamizar la economía nacional y potenciar la participación de Chile en los mercados globales y proporcionar mejores condiciones de habitabilidad para la población, a través de la provisión estratégica de infraestructura y gestión hídrica asociada al aumento de disponibilidades del recurso para fines productivos, y para el suministro de agua potable y saneamiento (urbano/rural), así como a la evacuación de aguas lluvias, protección de cauces y de control aluvional, etc., en los sistemas de centros poblados (urbano-rurales), lo que en su conjunto, permitirá reducir el riesgo de las amenazas naturales y aquellas generadas por los efectos del cambio climático y la intervención humana.

1.2.2 Objetivos específicos

- Establecer un diagnóstico actual y prospectivo de los principales sectores de demanda hídrica del país para el período 2025-2055, para lo cual se tendrá que analizar, consolidar y sistematizar la información secundaria de base sobre la oferta y demanda de recursos hídricos (estableciendo las correspondientes brechas) a nivel de regiones y cuencas en situación actual y futura (2055) y por sector de demanda, e incluyendo el análisis histórico de los niveles de precipitaciones y eventos climáticos extremos (ya sea sequías o inundaciones críticas). Dicha información dispersa deberá ser obtenida de diversas instituciones (DGA, DOH y DIRPLAN del MOP, SISS, CNR ODEPA, MMA, MDSyF, CIREN, MINERÍA, COCHILCO, MINISTERIO DE ENERGÍA, SUBDERE y otros) y/o documentos.
- Efectuar una evaluación hídrica de contraste entre la demanda de cada región y sus cuencas y la oferta (en base a punto i), para analizar la viabilidad hídrica de las iniciativas propuestas orientadas a abordar los diversos requerimientos hídricos proyectados de los distintos sectores de demanda económico-productivos y de los centros poblados distribuidos en el territorio regional.
- Desarrollar un análisis que permita determinar las brechas de infraestructura hídrica para los principales sectores de demanda de cada región, con base en la información

generada en el punto anterior y a través de la revisión de información secundaria y desarrollo de iniciativas directas de interacción con actores claves.

- Analizar y revisar la disponibilidad de proyectos estratégicos regionales y por cuencas, tanto proyectados, como ejecutados y/o en ejecución, además de identificar y/o proponer nuevas iniciativas, incluyendo aquellas innovadoras que propicien nuevas fuentes de disponibilidades hídricas, todo lo cual se realizará mediante la aplicación de una metodología de análisis estratégico orientada a la seguridad hídrica regional y nacional. Se analizará la realización de las obras del ámbito hídrico propuestas en las planificaciones del MOP y otras instituciones (DOH, Concesiones, CNR, otras) desde 2010, incluyendo un breve análisis de las bondades de su realización y/o de los problemas que han afectado su implementación. Además, se realizará una revisión de la aparición de nuevas iniciativas estratégicas hídricas propuestas entre 2015-2022 susceptibles de ser consideradas en una planificación prospectiva a 2055, incluyendo la revisión de estudios y/o del perfil de las nuevas iniciativas en el mismo período. Ello, a fin de evaluar su idoneidad para ser incluidas de forma fundada en el proceso de análisis prospectivo del Plan Director 2025-2055.
- Actualizar (cuando corresponda), la información de las iniciativas estratégicas identificadas entre 2010-2022 aún no realizadas, del año base de su estudio original a 2023, en especial en relación a las ofertas y demandas hídricas planteadas, como en relación a los costos y beneficios esperados de dichas iniciativas.
- Completar la cartera base del año 2023 a partir de diversas fuentes que también han hecho esfuerzos de planificación en varias cuencas de Chile, levantando iniciativas necesarias a considerar. Especialmente, se deberá considerar la información proporcionada por los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica a nivel de cuencas levantados por la DGA.
- Realizar una evaluación que considere aspectos económicos (costos y beneficios), sociales, políticos, legales y ambientales de aquellas iniciativas estratégicas levantadas que permitan su posterior priorización.
- Priorizar las iniciativas evaluadas, con base a una metodología multicriterio que pondere diversos factores relevantes. Por ejemplo: urgencia del requerimiento, responde a ley vigente, responde a cambio climático, personas beneficiadas, impacto sobre el PIB regional y nacional, monto de la inversión, zonas de rezago, etc.
- Proponer una nueva prospectiva de los programas y/o proyectos estratégicos de infraestructura hídrica identificados con nuevos horizontes de realización (con alcance temporal al 2055 y con escenarios de corte de 10, 20 y 30 años), en base a diversos criterios y/o escenarios, con sus requerimientos de inversión y programación estimados dentro del período 2025-2055, para ser presentados como propuestas dentro del proceso de elaboración del Plan Director de Infraestructura 2025-2050.
- Georreferenciar la principal información existente y/o generada por el estudio.

CAPÍTULO 2 REVISIÓN DE ANTECEDENTES

La recopilación de antecedentes se enfocó en la búsqueda y el análisis de antecedentes de estudios bibliográficos y otros soportes digitales relativos al objetivo del estudio. Específicamente, lo anterior se aplicó a los antecedentes establecidos en las Bases Técnicas del estudio, complementándose con otros de interés.

2.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Los antecedentes revisados en el presente estudio son aquellos compilados en el Anexo A; a cada uno de ellos se le ha realizado una ficha resumen con los principales resultados de interés referentes al objetivo del estudio, las que pueden ser consultadas en el mencionado anexo.

A partir del análisis realizado durante la generación de las fichas resumen de los antecedentes, y de acuerdo a los objetivos del estudio, se establecieron los principales ejes de interés para la selección de la información relevante: gobernanza, demanda-oferta hídrica y cartera de iniciativas. A continuación, se presenta un resumen de los principales antecedentes según la clasificación anterior.

2.1.1 Antecedentes relativos gobernanza

En la Tabla 2.1-1 se presenta un resumen de las principales fuentes consideradas. El número de referencia, corresponde al orden según el Anexo A del presente estudio, donde dichos antecedentes han sido recopilados, analizados y resumidos en fichas.

Tabla 2.1-1 Listado de algunas fuentes de información relevantes asociadas a gobernanza en materia hídrica

Ref	Fuente de información	Año	Institución o Empresa
2 - 37	Planes Estratégicos de Gestión Hídrica por cuenca	2020 - 2022	Dirección General de Aguas (DGA)
73	Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático, Informe de la mesa Agua. Santiago: Comité Científico COP25	2019	Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación
86	Política Nacional para los Recursos Hídricos	2015	Ministerio del Interior y Seguridad Pública

Fuente: Elaboración propia.

En general, los antecedentes revisados tienen como objetivo primordial promover una gestión eficiente, equitativa y sostenible de los recursos hídricos en Chile. Abordan la importancia estratégica del agua para el desarrollo socioeconómico y ambiental del país, proponiendo medidas para fortalecer la gobernanza del agua y garantizar su disponibilidad y calidad para diversos usos, como abastecimiento humano, agricultura e industria.

Además, proponen estrategias para enfrentar desafíos como el cambio climático, la escasez hídrica y la contaminación de fuentes de agua, incluyendo medidas de adaptación y promoción de prácticas sostenibles.

Asimismo, enfatizan la necesidad de la participación ciudadana y la conciencia ambiental en la gestión responsable de los recursos hídricos para asegurar su sustentabilidad a largo plazo.

Para revisar un análisis en mayor detalle de los antecedentes revisados, ver acápite 4.2

2.1.2 Antecedentes relativos a demanda y oferta hídrica

En la Tabla 2.1-2 se presenta un resumen de las principales fuentes consideradas. El número de referencia, corresponde al orden según el Anexo A del presente estudio, donde dichos antecedentes han sido recopilados, analizados y resumidos en fichas.

Tabla 2.1-2 Listado de fuentes de información relevantes asociadas a demanda y oferta en materia hídrica

Ref	Fuente de información	Año	Institución o Empresa
1	Actualización del Balance Hídrico Nacional considerando Cambio Climático	2017	Dirección General de Aguas (DGA)
2 - 37	Planes Estratégicos de Gestión Hídrica por cuenca	2020 - 2022	Dirección General de Aguas (DGA)
38	Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de los recursos hídricos en Chile	2017	Dirección General de Aguas (DGA)
108	Análisis de información sobre recursos hídricos y modelos operacionales de cuencas y formulación de una herramienta de modelación hídrica operacional simplificada para la definición de inversión en infraestructura y gestión hídrica en el horizonte 2050	2022	Instituto Nacional de Hidráulica (INH)

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los antecedentes revisados, es posible concluir que los recursos hídricos son uno de los recursos naturales más afectados por el cambio climático en Chile. Esto se evidencia en una serie de informes realizados a nivel nacional, los cuales exponen una condición de mega sequía dentro del país desde hace más de una década (Stehr et al., 2019).

En este sentido, se ha identificado a nivel nacional tendencias climáticas asociadas a las precipitaciones y a un aumento de la temperatura que siguen la misma dirección proyectada hacia el futuro, lo que se atribuye a una manifestación temprana del cambio climático. De esta forma se observan cambios respecto a la escorrentía y la disponibilidad de agua irreversibles, tales como la expansión de la desertificación en la zona sur del país y la disminución de nieves en la alta montaña, lo que conduce a reducciones críticas en los caudales de los ríos en verano (subida isoterma 0°C), provocando una menor capacidad de carga o disolución de contaminantes, como también el riesgo de abastecimiento de agua potable proveniente de aguas superficiales (Stehr et al., 2019).

En particular, los modelos realizados indican que para el periodo 2030-2060 se presentará una disminución generalizada de las precipitaciones en comparación con la media histórica. En promedio se proyecta un descenso entre el 5% y el 15% para las cuencas comprendidas entre las regiones de Coquimbo y Aysén, acentuándose en el sector sur entre las regiones del Biobío y Los Lagos (Rojas, 2012). Según estimaciones, en total 71.400 km² aumentarán en su categoría de aridez, correspondiendo al 10% de la superficie continental del país. Por otra parte, en relación con el extremo norte y austral del país, las proyecciones son inciertas o más bien neutras, ya que algunos modelos indican tendencias al aumento y otros a la disminución de las precipitaciones (Stehr et al., 2019).

En la zona del norte grande, el agua subterránea constituye el recurso permanente; sin embargo, existe una gran brecha en lo que concierne a falta de información respecto a la distribución, extracción, cantidad y estado de las aguas (DGA, 2022). La extracción o sobre extracción de los acuíferos combinado con la baja en el flujo de recarga en la alta montaña, no solo da pie a la depreciación del nivel en el acuífero, sino que también afecta la calidad de las aguas. En zonas costeras, la explotación subterránea de agua dulce, además del aumento del nivel del mar, produce intrusión salina en estuarios y aguas subterráneas (Stehr et al., 2019).

La zona centro y sur de Chile, concentra el mayor número de población dentro del país y la principal actividad económica tiene relación a la industria silvoagropecuaria. Esta zona es la más afectada respecto a la escasez hídrica, llevando alrededor de una década con déficit de precipitaciones de entre 25% y 30%, lo que la convierte en la década más seca desde que existe registro. Se ha demostrado que parte de esta sequía se debe principalmente a la acción humana impactado con fuerza el régimen de caudales, cuyo déficit varía entre 70% en los ríos de las regiones de Coquimbo y Valparaíso, a valores cercanos al 25% hacia el sur durante el período 2010-2014 (Rojas et al., 2019). La baja en las precipitaciones, sumado a la alta concentración de cultivos, población y el aumento de temperaturas, por medio del cambio climático ha generado aumento en la escorrentía en eventos de tormenta, una baja en la acumulación de nieves, aumento de la evapotranspiración y una disminución en los

caudales medios y la disponibilidad de agua en temporadas de primavera y verano (Stehr et al., 2019).

Por último, la macrozona austral al igual que las zonas centro y sur, presenta una disminución en las precipitaciones; no obstante, las brechas asociadas van en línea con la falta de monitoreo y control meteorológico, como también de las fuentes de agua superficial y subterránea (DGA, 2021b).

A nivel nacional existe un déficit y desactualización en cuanto a la falta de datos hidrometeorológicos y de aguas subterráneas. Esta situación conforma una de las principales brechas que llevan a un alto grado de incertidumbre en la estimación del balance hídrico para la mayoría de las cuencas del país. Por esto, es necesario generar prontas iniciativas, para definir soluciones óptimas entorno a la gestión del recurso y hacer frente a los impactos del cambio climático a lo largo de todo el país (DGA, 2017a). Además, necesario tomar en consideración una gobernanza entorno al agua en cuanto a derechos y gestión del recurso, de forma resiliente al cambio climático. En este sentido, es de suma relevancia el rol de los ecosistemas naturales, para ello es necesario integrar el componente medioambiental, con soluciones basadas en la naturaleza, considerando la interacción de las obras de infraestructura con la red hidrográfica y eliminar las brechas de información hidrometeorológica, para hacer frente de forma resiliente los efectos del cambio climático (Rojas, 2012).

2.1.3 Antecedentes relativos a cartera de iniciativas

Dentro de la revisión de antecedentes, se ha prestado especial atención a aquellos Planes y Estudios existentes que plantearon iniciativas, acciones o medidas en materia hídrica en las cuencas de estudio. Ha sido considerada también la información que ha dispuesto el Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MIDESO) a través del portal del Banco Integrado de Proyectos (BIP). En la Tabla 2.1-3 se presenta un resumen de las principales fuentes consideradas. El número de referencia, corresponde al orden según el Anexo A del presente estudio, donde dichos antecedentes han sido recopilados, analizados y resumidos en fichas.

Tabla 2.1-3 Listado de fuentes de información relevantes asociadas a carteras de acciones o medidas en materia hídrica

Ref	Fuente de información	Año	Institución o Empresa
2 - 37	Planes Estratégicos de Gestión Hídrica por cuenca	2020 - 2022	Dirección General de Aguas (DGA)
39	Plan Director de Infraestructura MOP 2010-2025	2009	Dirección de Planeamiento (DIRPLAN)
42 - 58	Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021	2012	Dirección de Planeamiento (DIRPLAN)
63	Análisis de Inversión en Infraestructura y Gestión Hídrica (PIIH) 2020-2050	2020	Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)

Ref	Fuente de información	Año	Institución o Empresa
n/a	Diagnóstico para el desarrollo de los Planes de Riego por cuenca	n/a	Comisión Nacional de Riego (CNR)
n/a	Banco Integrado de Proyecto (BIP)	2023	MIDESO

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la información contenida en el BIP, esta considera las iniciativas de diversas instituciones formuladoras tales como: Comisión Nacional de Riego (CNR), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Seremi de Vivienda, Servicio de Agua Potable Rural, entre otras.

2.2 REUNIONES CON CONTRAPARTE TÉCNICA

Para este estudio se considerarán 3 tipos de reuniones con contraparte técnica, las cuales se numeran y describen a continuación:

- Reuniones de seguimiento: reuniones con una periodicidad mínima mensual, con el objetivo de revisar avances y alcances del estudio.
- Reuniones con CPI-MOP: reuniones con periodicidad por definir en coordinación con Inspección Fiscal, y cuya finalidad será recopilar visiones e información territorial de cada región e institución que forma parte del comité.
- Reuniones de trabajo con otros estudios de apoyo al Plan Director: reuniones sin periodicidad establecida, cuyo objetivo es definir los objetivos, estrategias y factores que unirá a los resultados del estudio de apoyo.

2.3 ENTREVISTA CON ACTOR CLAVE

A continuación, se presentan las principales conclusiones de la entrevista realizada a la profesional del Departamento de Planificación de Inversiones. En esta entrevista se trataron temas clave relacionados con la infraestructura hídrica del país, abarcando los desafíos actuales en su implementación y la búsqueda de soluciones eficientes para la gestión de los recursos hídricos.

- Planificación y ejecución de proyectos hídricos: Se discutió la implementación de una iniciativa de infraestructura hídrica y se plantearon preguntas sobre el rol del Ministerio de Obras Públicas y su relación con la planificación de esta infraestructura. También se analizaron las dificultades en la implementación de estaciones hidrométricas y la necesidad de considerar incertidumbres y obstáculos antes de avanzar con iniciativas hídricas. Además, se destacó la importancia de simplificar el ciclo de vida de los proyectos para crear nuevos sistemas de abastecimiento de agua y responder rápidamente a los problemas de abastecimiento en sectores rurales.

- **Desafíos en la infraestructura de desalinización y reúso de aguas:** Se abordó los desafíos en la movilización de proyectos de desalinización y plantas de agua potable, destacando los altos costos operativos y la resistencia de algunos sectores a asumirlos. También se discutieron los desafíos en la toma de decisiones sobre infraestructura hídrica, particularmente debido a la influencia del cambio climático en la planificación y ejecución de proyectos. Asimismo, se mencionó la escasez de proyectos de reúso de aguas y las dificultades encontradas en este campo.
- **Servicios sanitarios rurales y reutilización de aguas grises:** Otro tema abordado fue la implementación de soluciones para servicios sanitarios rurales y la reutilización de aguas grises, enfatizando la necesidad de incentivos para que las empresas sanitarias se involucren en estos proyectos.
- **Conservación y restauración de riberas:** Se plantearon interrogantes sobre la conservación y restauración de riberas, así como sobre los estudios hidrológicos, cuestionando los criterios y justificaciones utilizados, ya que algunos proyectos están estancados o no se han realizado por razones políticas.
- **Proyección de infraestructura a largo plazo:** Finalmente, se sugirió la coordinación con un equipo de la Universidad Católica para obtener información sobre la proyección de infraestructura, destacando la importancia de considerar recomendaciones para un plan de infraestructura a largo plazo.

La entrevista permitió identificar desafíos clave en la planificación e implementación de infraestructura hídrica en Chile, como la necesidad de simplificar procesos, enfrentar altos costos operativos, y responder a las presiones del cambio climático. Se hace imprescindible un enfoque coordinado que contemple soluciones innovadoras y sostenibles a largo plazo, además de incentivos adecuados para asegurar la participación de sectores clave en la ejecución de los proyectos necesarios para enfrentar las crecientes demandas hídricas del país.

CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE POLITICAS, ASPECTOS NORMATIVOS E INSTRUMENTOS VINCULADOS A LA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

3.1 SISTEMATIZACIÓN DE POLÍTICAS, ASPECTOS NORMATIVOS E INSTRUMENTOS DE LA OFERTA PÚBLICA ASOCIADA A LA SEGURIDAD HÍDRICA ACTUAL Y PROYECTADA DEL PAÍS, BAJO ESCENARIOS DE INCERTIDUMBRE POR EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.

La selección y revisión de políticas y normativas se centró en 2 criterios:

- a) La jerarquía normativa chilena. Considerando que Ley Chile dispone de más de 388.000 normas completas de diversa jerarquía, se revisaron aquellas que pertenecían a los primeros 6 niveles de importancia normativa clasificados en la Biblioteca Nacional del Congreso (BCN, 2023): Constitución Política de la República, Tratados Internacionales, Leyes, Decreto Ley, Decreto con Fuerza Ley y Código.
- b) Vinculación con la seguridad hídrica. Como se menciona en el acápite 2.1.1, existen más de 40 instituciones públicas vinculadas a temas hídricos, cada una con sus propios marcos normativos, los que, para efecto de este estudio, se agruparon de acuerdo a las dimensiones de seguridad hídrica definidos en la Ley Marco de Cambio Climático (2022): Consumo humano, salud y subsistencia; desarrollo económico; conservación y preservación de ecosistemas; y resiliencia frente a amenazas asociadas a sequía, crecidas y contaminación.

En base a los criterios mencionados anteriormente, en los siguientes acápites, se presenta la normativa vigente y en trámite asociada a la seguridad hídrica en Chile.

3.1.1 Normativas vigentes

En la Tabla 3.1-1, se presenta un resumen de las principales normativas vigentes vinculadas a seguridad hídrica y sus objetivos.

3.1.2 Normativas en trámite

En la Tabla 3.1-2, se presenta un resumen de las principales normativas en trámite vinculadas a seguridad hídrica y sus objetivos. El impacto de la aprobación de las normativas en trámites se analizará en términos de efecto habilitante o limitante de las iniciativas seleccionadas por región.

3.1.3 Políticas, planes y estrategias

En la Tabla 3.1-3, se presenta un resumen de los principales planes, políticas y estrategias vinculadas a seguridad hídrica y sus objetivos.

Tabla 3.1-1 Normativa vigente relacionadas a seguridad hídrica

Jerarquía	Sector	Normativa	Objetivo o temática de vinculación a seguridad hídrica
Constitución Política de la República	General	Artículo 24 de la Constitución Política de Chile de 1981	Derecho a la propiedad del agua.
Tratados Internacionales	Resiliencia	Convención internacional de la lucha contra la desertificación en los países afectados por sequía grave o desertificación de 1997	Mitigar los efectos de la sequía mediante la adopción de medidas eficaces en todos los niveles, apoyadas por acuerdos de cooperación y asociación internacionales, en el marco de un enfoque integrado.
	Conservación	Convención sobre los humedales de importancia internacional (RAMSAR) de 1980	Compromiso a la designación de humedales considerados de Importancia Internacional en términos ecológicos, botánicos, zoológicos, limnológicos o hidrológicos.
	Resiliencia	Convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático de 1994	Estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.
	Humano	Resolución 64/292 de la Asamblea de las Naciones Unidas del 2010	Se reconoce el derecho al agua potable y el saneamiento como un Derecho Humano.
	General	Tratado bilateral con Argentina sobre Medio Ambiente y Recursos Hídricos Compartidos de 1991	Establece el manejo integral de cuencas transfronterizas y determina el desarrollo de Planes Generales de Utilización de los recursos hídricos.
Leyes	General	Ley 21.455/2022 Marco de Cambio Climático	La ley establece un marco jurídico para abordar los desafíos del cambio climático, con el objetivo de lograr la neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2050. Respecto a los recursos hídricos, la ley determina el desarrollo de Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas, que proponen acciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático sobre la disponibilidad de agua priorizando el consumo humano y la conservación de la naturaleza. Además, promueve la resiliencia de la infraestructura

Jerarquía	Sector	Normativa	Objetivo o temática de vinculación a seguridad hídrica
			hídrica frente a amenazas como sequías y crecidas, garantizando así la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.
	General	Ley 19.300/1994 sobre Bases Generales de Medio Ambiente	Establece un marco general de regulación del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. En relación al recurso hídrico se enfatiza en su uso eficiente para asegurar su sustentabilidad y la diversidad biológica asociada. Aunque no aborda explícitamente la seguridad hídrica, sí establece disposiciones para proteger ecosistemas, como la regulación del uso de recursos naturales en áreas determinadas y la protección específica de ecosistemas acuáticos continentales. También exige la elaboración de estudios de impacto ambiental para actividades que puedan afectar la integridad de dichos ecosistemas, buscando prevenir daños importantes.
	Conservación	Ley 21.600/2023 Crea el Servicio de biodiversidad y áreas protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas.	Establece un marco jurídico e institucional para la conservación de la diversidad biológica y la protección del patrimonio natural del país, a través de la preservación, restauración y uso sustentable de genes, especies y ecosistemas.
	Humano	Ley 20.998/2017 Regula los Servicios Sanitarios Rurales	Establece un marco jurídico e institucional que regule la prestación de servicios sanitarios rurales, entendiéndose por tal la provisión de agua potable así como la recolección y tratamiento de las aguas servidas.
	General	Ley 21.435/2022 Reforma el Código de Aguas	Introduce modificaciones en el Código de Aguas (ver DFL 1.112/1981), reforzando el principio de que el agua es un bien nacional de uso público, lo que permite limitar, restringir, caducar o extinguir derechos de aprovechamiento; también se modificaron las características de las concesiones de derechos de aprovechamiento, estableciendo una duración prorrogable de 30 años; se priorizó la función básica de subsistencia del agua, reconociendo el acceso al agua potable y saneamiento como un derecho humano esencial e irrenunciable, dando

Jerarquía	Sector	Normativa	Objetivo o temática de vinculación a seguridad hídrica
			<p>prevalencia al uso para el consumo humano, doméstico y de subsistencia; se protegió la función ecosistémica del recurso hídrico al prohibir la creación de nuevos derechos de aprovechamiento en glaciares, áreas protegidas oficialmente por su biodiversidad, humedales urbanos, entre otros; se fortalecieron las atribuciones de la Dirección General de Aguas; y se fomentó un uso más eficiente de las aguas.</p>
	Económico	Ley 18.248 Código de Minería	<p>Establece un marco general de regulación para la exploración y explotación de recursos mineros. Reconoce y regula los derechos de agua en el contexto de las actividades mineras, estableciendo los derechos de aprovechamiento de aguas para las labores mineras y su relación con la normativa vigente en materia de recursos hídricos y los ecosistemas vinculados a ella.</p>
	Económico	Ley 18.450/1985 Aprueba normas para el fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje	<p>Establece la bonificación del costo de estudios, construcción y rehabilitación de obras de riego o drenaje; y, en general, toda obra de puesta en riego u otros usos asociados directamente a las obras bonificadas, habilitación y conexión.</p>
	Resiliencia	Ley 20.304/2008 sobre operación de embalses frente a alertas y emergencias de crecidas y otras medidas que indica el Ministerio de Obras Públicas	<p>Norma la operación de los embalses de control que, por su capacidad de regulación o por su cercanía a lugares habitados, permita, en casos de crecidas inminentes de caudales de agua, evitar o mitigar los riesgos para la vida, la salud o los bienes públicos y privados, junto con otros derechos y obligaciones que indica.</p>

Jerarquía	Sector	Normativa	Objetivo o temática de vinculación a seguridad hídrica
	General	Ley 21.639/2023 Modifica normas para el desarrollo de proyectos de infraestructura hídrica y desalinización, con el fin de destinar agua al cumplimiento de la función de subsistencia y de riego.	Modifica normas para el desarrollo de proyectos de infraestructura hídrica y desalinización, con el fin de destinar agua al cumplimiento de la función de subsistencia y de riego.
	Conservación	Ley 21.202/2020 modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos	Proteger los humedales urbanos declarados por el Ministerio del Medio Ambiente, de oficio o a petición del municipio respectivo, y que se encuentren total o parcialmente dentro del límite urbano. Entre los cuerpos legales afectados por esta ley se encuentran la Ley General de Urbanismo y Construcciones, la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, la Ley General de Servicios Sanitarios, la Ley General de Pesca y Acuicultura, la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, la Ley de Urbanismo y Ordenamiento Territorial, la Ley de Bosques, la Ley General de Urbanismo y Construcciones, la Ley General de Servicios Sanitarios y la Ley General de Pesca y Acuicultura.
Decreto con Fuerza Ley	Humano	DFL MOP N°382/1988 Ley General de Servicios Sanitarios	Dispone el régimen de explotación de servicios públicos destinados a producir y distribuir agua potable y a recolectar y disponer aguas servidas; el régimen de concesión para establecer, construir y explotar servicios sanitarios; y la fiscalización del cumplimiento de las normas a la prestación de servicios sanitarios.
	General	DFL 1.122/1981 Fija texto del Código de Aguas	Establece un marco general de regulación para el uso de las aguas.

GENERAL: Incluye a todos los sectores vinculados a seguridad hídrica; HUMANO: sector vinculado a temas de consumo humano, salud y subsistencia; ECONÓMICO: sector vinculado a temáticas de desarrollo económico; CONSERVACIÓN: sector vinculado a la conservación y preservación de ecosistemas; RESILIENCIA: sector vinculado a temáticas de resiliencia frente a amenazas asociadas a sequía, crecidas y contaminación.

Fuente: Elaboración propia en base a BCN (2023) y CDGA (2023)

Tabla 3.1-2 Catastro de normativas en trámite relacionadas a seguridad hídrica

Etapa	Boletín	Título	Último Movimiento	Año Ingreso	Urgencia Actual
1° trámite constitucional (Senado)	4205-12 R (con Boletín 11876-12)	Proyecto de ley sobre protección de glaciares.	23/08/2023: Cuenta de segundo informe de Comisión de Hacienda.	2006	Sin urgencia
1° trámite constitucional (C. Diputados)	9185-08 R (con Boletín 10038-08)	Establece la desalinización del agua de mar para su uso en procesos productivos mineros.	21/12/2017: Oficio N°13672. Comunica que la Sala fijó plazo de 15 días a la Comisión de Constitución, Legislación, Justicia y Reglamento, para informar y remitir los proyectos de ley refundidos a la Comisión de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía.	2013	Sin urgencia
1° trámite constitucional (C. Diputados)	9364-12	Establece Ley de protección y preservación de glaciares.	21/08/2018: Oficio de S.E. el presidente de la República (N°345-366), mediante el cual se retiran de tramitación las indicaciones presentadas al proyecto mediante los oficios N°1170-362; 998-363 y 1238-363.	2014	Sin urgencia
2° trámite constitucional (Senado)	9862-33	Faculta al Estado para la creación de plantas desalinizadoras.	05/01/2021: Cuenta oficio de la Cámara de Diputados por el cual comunica que no accedió a la solicitud de archivo del Senado.	2015	Sin urgencia
1° trámite constitucional (C. Diputados)	10038-08 R (con Boletín 9185-08)	Modifica el Código de Minería en materia de uso de agua en faenas mineras.	21/12/2017: Oficio N°13672. Comunica que la Sala fijó el plazo de 15 días a la Comisión de Constitución, Legislación, Justicia y Reglamento, para informar y remitir los proyectos de ley refundidos a la Comisión de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía.	2015	Sin urgencia
2° trámite constitucional (Senado)	11597-12	Modifica el Código de Aguas para impedir la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas sobre glaciares.	06/09/2022: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Medio Ambiente y Bienes Nacionales.	2018	Sin urgencia
1° trámite constitucional (Senado)	11608-09	Sobre el uso de agua de mar para la desalinización.	09/03/2022: Oficio N°450-369. Indicación sustitutiva del Ejecutivo.	2018	Sin urgencia
1° trámite constitucional (C. Diputados)	11672-12	Establece, para la provincia de Chiloé, la prohibición de extracción de materiales o productos desde las turberas, y sanciona su infracción.	11/04/2018: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	2018	Sin urgencia
1° trámite constitucional (Senado)	11876-12 R (con Boletín 4205-12)	Sobre protección de glaciares.	23/08/2023: Cuenta de segundo informe de Comisión de Hacienda.	2018	Sin urgencia

Etapa	Boletín	Título	Último Movimiento	Año Ingreso	Urgencia Actual
1º trámite constitucional (C. Diputados)	11910-33	Modifica el Código de Aguas en materia de singularización de los derechos de aprovechamiento en los actos o contratos, y del traslado de su ejercicio.	18/07/2018: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía.	2018	Sin urgencia
2º trámite constitucional	11935-33	Establece normas para asegurar la conservación de humedales, y regula su manejo y afectación.	08/01/2020: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Medio Ambiente y Bienes Nacionales.	2018	Sin urgencia
Comisión Mixta por rechazo de modificaciones (Senado)	12017-12	Sobre protección ambiental de las turberas.	22/03/2023: Cuenta del Oficio N°18.171 de la Cámara de Diputados, que comunica que el diputado señor Jaime Sáez Quiroz reemplazará en forma permanente a la diputada señora María Candelaria Acevedo Sáez en la Comisión Mixta constituida para resolver las discrepancias surgidas durante la tramitación del proyecto de ley.	2018	Sin urgencia
1º trámite constitucional (C. Diputados)	12196-08	Modifica el Código de Minería en materia de aprovechamiento de aguas en faenas mineras.	06/11/2018: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Minería y Energía.	2018	Sin urgencia
2º trámite constitucional (C. Diputados)	12484-12	Proyecto de ley que prohíbe actividades en humedales y zonas aledañas.	29/01/2020: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	2019	Sin urgencia
1º trámite constitucional (Senado)	12512-11	Proyecto de ley que promueve el acceso al agua potable.	17/09/2020: Boletín de indicaciones.	2019	Sin urgencia
1º trámite constitucional (Senado)	13034-09	Proyecto de ley que regula el uso sustentable de las aguas subterráneas.	06/11/2019: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión Especial sobre Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía.	2019	Sin urgencia
1º trámite constitucional (Senado)	13179-09	Proyecto de ley que establece normas de eficiencia hídrica y adaptación al cambio climático.	23/11/2023: Cuenta de Mensaje 1543-371 que retira y hace presente la urgencia simple.	2020	Simple
1º trámite constitucional (C. Diputados)	13266-33	Modifica el Código de Aguas para limitar el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas en regiones en que existan comunas afectas a decreto de escasez hídrica.	05/03/2020: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Recursos Hídricos y Desertificación.	2020	Sin urgencia
1º trámite constitucional (Senado)	13891-09	Permite asegurar la certeza hídrica para los diferentes usos productivos del agua.	16/11/2020: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión Especial sobre Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía.	2020	Sin urgencia

Etapa	Boletín	Título	Último Movimiento	Año Ingreso	Urgencia Actual
1° trámite constitucional (C. Diputados)	14134-08	Regula la extracción de áridos.	30/03/2021: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Minería y Energía.	2021	Sin urgencia
1° trámite constitucional (Senado)	14286-07	Aumenta las penas del delito de usurpación de aguas y modifica norma de la Ley N°19.300.	01/06/2021: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Constitución, Legislación, Justicia y Reglamento.	2021	Sin urgencia
1° trámite constitucional (Senado)	14446-09	Que crea la Subsecretaría de Recursos Hídricos en el Ministerio de Obras Públicas y una nueva institucionalidad nacional de recursos hídricos, y modifica los cuerpos legales que indica.	01/03/2022: Cuenta de Mensaje 390-369 que retira y hace presente la urgencia suma.	2021	Sin urgencia
1° trámite constitucional (C. Diputados)	14575-06	Modifica la Ley N°18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades, para agregar criterios de cuidado del agua en relación con las funciones de aseo y ornato y en las ordenanzas ambientales de las municipalidades.	08/09/2021: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Gobierno Interior, Nacionalidad, Ciudadanía y Regionalización.	2021	Sin urgencia
2° trámite constitucional (Senado)	14619-12	Modifica la Ley N°21.202, para agregar mecanismos de participación directa en las solicitudes de reconocimiento de la calidad de humedal urbano.	12/04/2023: Cuenta del Mensaje 204-371 que retira y hace presente la urgencia simple.	2021	Simple
1° trámite constitucional (Senado)	14714-01	Establece una ley marco de suelos.	15/11/2022: Nuevo plazo para indicaciones. Se amplía plazo para presentar indicaciones hasta el 14/12/2022 a las 12.00 en la Secretaría de la Comisión de Agricultura.	2021	Sin urgencia
1° trámite constitucional (C. Diputados)	14805-12	Modifica la Ley N°19.300, Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente, para incorporar como tipología del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, aquellos proyectos que usen aguas.	19/01/2022: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	2022	Sin urgencia
1° trámite constitucional (Senado)	14811-21	Modifica la Ley General de Pesca y Acuicultura, en materia de protección ambiental y el desarrollo económico y social en áreas silvestres protegidas en cuyos límites se hayan otorgado concesiones de acuicultura.	24/01/2022: Cuenta del Mensaje 378-369 que hace presente la urgencia suma.	2022	Sin urgencia
1° trámite constitucional (Senado)	14975-01	Modifica el Código de Aguas, en lo relativo al uso, adquisición o renovación de los derechos de aprovechamiento consuntivos de aguas.	11/05/2022: Cuenta de proyecto. Pasa Comisión de Agricultura.	2022	Sin urgencia

Etapa	Boletín	Título	Último Movimiento	Año Ingreso	Urgencia Actual
1° trámite constitucional (C. Diputados)	14987-12	Dicta normas para dar protección a los humedales rurales y modifica cuerpos normativos que indica.	16/05/2022: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	2022	Sin urgencia
1° trámite constitucional (Senado)	15096-09 R (con Boletín 15676-09)	Regula la extracción de áridos.	07/11/2023: Cuenta del Mensaje 1442-371 que hace presente la urgencia suma. 22/11/2023: Cuenta del Mensaje 1530-371 que retira y hace presente la urgencia suma. 29/11/2023: Cuenta del Mensaje 1613-371 que retira y hace presente la urgencia suma.	2022	Suma
1° trámite constitucional (C. Diputados)	15391-12	Concede acción judicial para proteger los humedales urbanos.	03/10/2022: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	2022	Sin urgencia
1° trámite constitucional (Senado)	15513-12	Modifica la Ley N°19.300, sobre Bases Generales de Medio Ambiente, en materia de protección de zonas costeras.	29/11/2022: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Medio Ambiente, Cambio Climático y Bienes Nacionales.	2022	Sin urgencia
1° trámite constitucional (C. Diputados)	15555-12	Establece una ley general de protección de humedales y modifica la Ley N°19.300, sobre bases generales de medio ambiente.	12/12/2022: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales.	2022	Sin urgencia
1° trámite constitucional (Senado)	15676-09 R (con Boletín 15096-09)	Dicta normas sobre extracción de áridos.	07/11/2023: Cuenta del Mensaje 1442-371 que hace presente la urgencia suma. 22/11/2023: Cuenta del Mensaje 1530-371 que retira y hace presente la urgencia suma. 29/11/2023: Cuenta del Mensaje 1613-371 que retira y hace presente la urgencia suma.	2023	Suma
2° trámite constitucional	15754-33	Modifica el Código de Aguas en materia de otorgamiento de derechos de uso y aprovechamiento de aguas a proveedores de Servicios Sanitarios Rurales.	23/11/2023: Cuenta del Mensaje 1551-371 que retira y hace presente la urgencia simple.	2023	Simple
1° trámite constitucional (C. Diputados)	15996-33 R (con Boletín 16155-09)	Modifica el Código de Aguas en materia de protección de puntos de captación de aguas subterráneas.	10/10/2023: Oficio N°18.879. Comunica a la Comisión de Recursos Hídricos que la Sala accedió a s solicitud de orden a refundir los proyectos de ley correspondientes a los boletines Nos. 15.996-33 y 16.155-09.	2023	Sin urgencia

Etapa	Boletín	Título	Último Movimiento	Año Ingreso	Urgencia Actual
1° trámite constitucional (Senado)	16090-33	Modifica el Código de Aguas con el objeto de incorporar la regulación de las aguas desaladas de mar.	18/07/2023: Cuenta de proyecto. Pasa a Comisión de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía.	2023	Sin urgencia
1° trámite constitucional (C. Diputados)	16155-09 R (con Boletín 15996-33)	Modifica el Código de Aguas para aumentar el área de protección de los pozos de servicios sanitarios rurales.	10/10/2023: Oficio N°18.879. Comunica a la Comisión de Recursos Hídricos que la Sala accedió a s solicitud de orden a refundir los proyectos de ley correspondientes a los boletines Nos. 15.996-33 y 16.155-09.	2023	Sin urgencia

R: Proyectos de ley refundidos o tramitados junto a otros de la misma materia.

Fuente: Elaboración en base a CDGA (2023)

Tabla 3.1-3 Catastro de políticas, planes y estrategias (PPE) relacionadas a seguridad hídrica

Sector	PPE	Objetivo
General	Política Nacional de Recursos Hídricos 2015 (PNRH)	Tiene como objetivo general «garantizar a las generaciones actuales y futuras, la disponibilidad y acceso al agua en estándares de calidad y cantidad adecuados mediante el uso racional y sustentable de los recursos hídricos, privilegiando en primer lugar el consumo humano». Este objetivo general se complementa con dos objetivos específicos. El primero está relacionado con el diseño de programas que permitan disminuir los efectos de la sequía a nivel nacional, y nos permitan estar mejor preparados para eventos futuros. Por otro lado, el segundo objetivo tiene relación con aspectos institucionales y jurídicos que faciliten la gestión de los recursos hídricos.
	Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2013 (ENRH)	Elaborada por el Ministerio de Obras Públicas, se define como la hoja de ruta que guiará la gestión de los recursos hídricos hasta el año 2025. El actuar del Ministerio en lo relativo a recursos hídricos está definido sobre 5 ejes: gestión eficiente y sustentable, mejor institucionalidad, enfrentar la escasez, equidad social y ciudadanía informada. De acuerdo al informe realizado por Contraloría General de la República (CGR, 2014) ENRH no establece o plantea mecanismos o indicadores que permitan evaluar la eficiencia o efectividad de las acciones que se proponen para la gestión del recurso hídrico; sin perjuicio de ello existen diferentes servicios públicos que se encuentran desarrollando acciones vinculadas a la estrategia, no obstante, no es posible establecer una línea base para contrastar eventuales avances.
	Planes Regionales de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 (PRIGRH)*	El Ministerio de Obras Públicas, por medio de la Dirección de Planeamiento, desarrolla este plan de carácter indicativo, para cada una de las 16 regiones del país (actualmente existen 15, ya que Biobío incluye Ñuble). Dada la heterogeneidad territorial de Chile, cada uno de los 15 planes tiene objetivos distintos, pero no todos comparten el fin último de disponer de servicios de infraestructura hídrica de calidad, promoviendo el uso eficiente del recurso hídrico para mejorar la competitividad de los sectores productivos y su integración en los mercados internacionales. Lo anterior es complementado con consideraciones de sustentabilidad y respeto a la identidad cultural de la región.
	Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) por cuencas	Busca proponer un plan estratégico indicativo para cuencas priorizadas, que permitirán conocer la oferta y la demanda histórica, actual y potencial de agua; establecer el balance hídrico y sus proyecciones a 30 años; diagnosticar la calidad de las aguas subterráneas y superficiales; diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico; proponer una cartera de acciones DGA y de terceros público-privados. Actualmente se han realizado planes para 48 de las 101 cuencas existentes en el país. El listado de los PEGHs ejecutados se presenta en Anexo D – 01.03.

Sector	PPE	Objetivo
	Plan Sequía	Busca aumentar la disponibilidad de agua y mejorar la eficiencia en su uso, con lo cual se busca asegurar el abastecimiento para el consumo humano y la producción de alimentos, luego de la agudización de la crisis hídrica luego que afecta principalmente los territorios comprendidos entre las regiones de Atacama y el Biobío.
Económico	PNACC sector silvoagropecuario 2013	El plan contempla medidas para incorporar o reforzar atributos de adaptación al cambio climático en la agricultura nacional. El plan identifica los siguientes atributos como deseables para una correcta adaptación al cambio climático: eficiencia en el uso de recursos, flexibilidad, sustentabilidad y tolerancia a condiciones climáticas extremas, con un enfoque en la pequeña y mediana agricultura, que aporte a las acciones de mitigación.
	PNACC sector pesca y acuicultura 2015	Desarrollado por la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura en conjunto con el Ministerio del Medio Ambiente. Define el marco general para el desarrollo de políticas públicas sectoriales, en las que se establecen las prioridades en materia de adaptación al cambio climático, se promueve la participación y coordinación de los grupos de interés, se entregan directrices que permiten focalizar y movilizar el financiamiento y los medios requeridos para contribuir al incremento de la capacidad de adaptación en los sectores más vulnerables, entre otros aspectos. Este PNACC se encuentra hoy en proceso de consulta ciudadana, por lo que las acciones específicas definidas pueden variar en consecuencia.
	Política Forestal 2015-2035	Tiene por objetivo identificar instrumentos y mecanismos, elaborar planes y programas para lograr alcanzar un desarrollo forestal sustentable, «como la contribución del sector forestal chileno al desarrollo económico-productivo, ecológico y social- cultural del país, mediante la conservación, el manejo integral, y el aprovechamiento y uso racional de los recursos, de las cuencas y los ecosistemas forestales».
	Planes de Riego	La Comisión Nacional de Riego ha reconocido la necesidad de mantener una planificación a mediano plazo de sus iniciativas de inversión, vale decir estudios básicos, proyectos y programas. En este contexto, la Comisión Nacional de Riego se ha propuesto acercar las acciones públicas a las demandas de las comunidades interesadas, lo cual requiere levantar una planificación que se estructure con participación, con un enfoque desde las bases hacia las cúpulas y en búsqueda de la eficiencia y sostenibilidad del recurso hídrico. Lo anterior, con el objetivo final de contribuir al uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos para riego en las cuencas, mediante la implementación de un Plan de Gestión de las aguas de riego y drenaje, diseñado y validado con la participación de los/as usuarios/as y agentes regionales y locales.

Sector	PPE	Objetivo
	Programa Nacional de Consumo y Producción Sustentables 2016	Contribuye a la transición hacia patrones de consumo y producción más sustentables, al generar un desacople del crecimiento y desarrollo del país de la degradación del medio ambiente.
Conservación	PNACC biodiversidad 2014	Este plan es el marco sobre el cual se desarrolla la política pública. Contribuye a ordenar prioridades, movilizar a los actores, obtener el financiamiento y desplegar los medios requeridos para salvaguardar la biodiversidad nacional. El objetivo principal del plan es «fortalecer la capacidad del país en todos sus niveles para responder a los desafíos climáticos y a la creciente presión humana sobre los bienes y servicios de los ecosistemas chilenos, identificando e implementando medidas de relevancia nacional sinérgicas entre conservación de la biodiversidad y su adaptación al cambio climático, que permitan, por una parte, aminorar las consecuencias negativas del cambio climático sobre los ecosistemas y la población y, por otra, asegurar la provisión continua de bienes y servicios ecosistémicos».
	Planes vinculados a Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF)	El GEF advierte las grandes amenazas ambientales que enfrenta el planeta y estima crucial que se ayude a invertir las tendencias negativas respaldando proyectos y programas innovadores, que promuevan transformaciones y puedan generar beneficios ambientales a escala mundial. Para ello, el GEF se concentra en “métodos integrados que adopten un enfoque holístico frente a los desafíos ambientales, con alianzas y recursos lo suficientemente poderosos como para abordar los grandes problemas. Atender una crisis ambiental tras otra no basta para lograr buenos resultados. Debemos comprender los indicios que señalan la gestación de una crisis y entender por qué esta se desarrolla.” El listado de planes GEF en Chile se presentan en Anexo D – 01.03.
Resiliencia	Plan de Adaptación y Mitigación de los Servicios de Infraestructura al Cambio Climático 2017-2022	Incorpora la problemática del cambio climático en los servicios de infraestructura que provee el Ministerio de Obras Públicas, con el fin de adaptarse a los cambios hidrometeorológicos futuros en un marco de resiliencia y sustentabilidad, además de contribuir a mitigar la generación de gases de efecto invernadero en las distintas fases del ciclo de vida de los proyectos.
	Plan Director de Infraestructura 2010-2025 (2009).	Identificación de planes de inversión en infraestructura, para establecer un conjunto de obras tendientes a contribuir de manera relevante a superar deficiencias de infraestructura o alcanzar el potencial de desarrollo del territorio, y a establecer conjuntos de proyectos e iniciativas consistentes entre sí, que permitan

Sector	PPE	Objetivo
		configurar actuaciones sinérgicas relevantes en el territorio. El estudio incluye la determinación de requerimientos futuros de infraestructura hídrica.
	Chile 3030 “El futuro no se espera, se construye”	Busca generar visión estratégica de mediano plazo, que oriente un desarrollo país capaz de reducir las desigualdades en materia de Infraestructura y gestión del Agua al año 2030, identificando las iniciativas estratégicas y acciones necesarias para mejorar la movilidad de las personas, bienes y servicios, apoyar al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes y la cultura, propiciar un desarrollo sostenible, fomentar al desarrollo productivo, y generar la plena integración de las regiones al desarrollo
Humano	Plan de Adaptación al Cambio Climático para Ciudades.	Propone lineamientos de adaptación para las ciudades frente al cambio climático, que fortalecen, con una mirada prospectiva, la capacidad de respuesta y la de sus habitantes frente a sus diferentes impactos, propendiendo mejorar el nivel de equidad territorial.
	Plan de Adaptación al Cambio Climático para Salud 2016	Fortalece la capacidad del país en el sector salud para responder al desafío del cambio climático, identificando e implementando medidas a corto, mediano y largo plazo que permitan aminorar las consecuencias negativas que este fenómeno producirá sobre la salud de la población, y asegura el funcionamiento adecuado de los servicios y redes de salud, considerando las nuevas condiciones climáticas y los impactos proyectados.

GENERAL: Incluye a todos los sectores vinculados a seguridad hídrica; HUMANO: sector vinculado a temas de consumo humano, salud y subsistencia; ECONÓMICO: sector vinculado a temáticas de desarrollo económico; CONSERVACIÓN: sector vinculado a la conservación y preservación de ecosistemas; RESILIENCIA: sector vinculado a temáticas de resiliencia frente a amenazas asociadas a sequía, crecidas y contaminación.

Fuente: Elaboración en base a Sterh et al. (2019).

3.2 ANÁLISIS DE POLÍTICAS, NORMATIVAS E INSTRUMENTOS RELATIVOS A SEGURIDAD HÍDRICA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE E INFRAESTRUCTURA

A continuación, se presenta una compilación de los análisis de los antecedentes revisados y el alcance de estos respecto a las dimensiones de seguridad hídrica.

3.2.1 Normativa Vigente

De manera general, dentro de la normativa vigente se observa un enfoque relacionado a la temática de la eficiencia del recurso hídrico para consumo humano y protección de ecosistemas. En este sentido se hace relevante la constante promoción de una gestión integrada de cuencas hidrográficas y un uso racional de los recursos hídricos. De manera de buscar garantizar un acceso global al agua potable y saneamiento básico; como también, preservar los ecosistemas favoreciendo la conservación mediante monitoreo y la elaboración de planes.

En el Anexo D se presenta en detalle un análisis de la normativa vigente.

3.2.2 Normativa en trámite

En relación a la normativa que se encuentra en trámite, de manera general se observa cierta similitud al enfoque de la normativa vigente, sin embargo, se evidencia mayor hincapié en temáticas de nuevas fuentes de agua como lo son las desaladoras, conservación y protección de glaciares y humedales, como también regulación del uso y aprovechamiento de aguas subterráneas.

En el Anexo D se presenta en detalle un análisis de la normativa en trámite.

3.2.3 Políticas, planes y estrategias

En cuanto a las políticas planes y estrategias analizadas, se destaca la importancia de reformas legales para mejorar la gestión hídrica, integrando aspectos ambientales y de uso de suelo con énfasis en cuencas y capacidades técnicas. Por otra parte, se aborda la necesidad de modernizar el marco legal e institucional, como también el fortalecimiento de la gestión de recursos hídricos en la agricultura y promover la eficiencia en el uso del agua en diversas áreas, incluyendo la industria y la acuicultura.

Se destaca, además, la importancia de monitorear y gestionar eficientemente el recurso ante el cambio climático, considerando la integración de este factor en la planificación ministerial. También se enfatiza en la implementación de racionamientos de agua en espacios públicos y la promoción de prácticas sostenibles para fortalecer la resiliencia de los ecosistemas.

Los planes en temas de infraestructura destacan en general la implementación de un plan integral de embalses con énfasis en la recuperación de infraestructuras hídricas, mejoramiento de sistemas de abastecimiento y promoción de canales integrados. Se propone además un enfoque integral para la gestión de agua incluyendo la construcción de defensa y planes maestros de evacuación para fortalecer la resiliencia comunitaria y la tecnificación de riego.

Por último, los planes resaltan la implementación de programas para la recarga artificial de acuíferos y se da énfasis en la importancia de mitigar los impactos de la explotación del agua promoviendo prácticas responsables para contribuir a la preservación a largo plazo de los ecosistemas hídricos.

En el anexo D se presenta en detalle un análisis de la normativa en trámite.

CAPÍTULO 4 MARCO CONCEPTUAL Y LINEAMIENTOS ESTRATÉGICOS

A continuación, se presenta el marco conceptual y los lineamientos estratégicos dentro de los cuales se desarrollará el presente estudio.

4.1 SOBRE PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTUR HÍDRICA A LARGO PLAZO

Usualmente, las evaluaciones de proyectos de infraestructuras se enfocan en seleccionar aquellas de menor costo económico para su ejecución y operación. No obstante, para lograr un desarrollo equilibrado, con servicios de infraestructura de alto estándar, y un uso eficiente y sustentable del recurso hídrico, se debe desarrollar una planificación territorial integrada que contemple, además del factor económico, factores sociales, ambientales, institucionales, legales y políticos (Siddiqi, Ereiqtat, & Diaz Anadon, 2016; Marchau, Walker, Bloemen, & Popper, 2019; MOP, 2018).

En el caso particular de la evaluación de proyectos a largo plazo, también se debe considerar que la toma de decisión no solo obedece a los factores mencionados anteriormente, sino que también depende de la anticipación a los cambios que puedan surgir en dichas áreas. En particular, el cambio climático y el crecimiento poblacional se presentan como algunas de las principales fuentes de incertidumbre para el establecimiento de planes y políticas para la infraestructura hídrica a largo plazo (Marchau, Walker, Bloemen, & Popper, 2019; Miro, et al., 2021). Esto se debe a que la seguridad hídrica, objetivo principal de este estudio y considerada un elemento central para la seguridad del consumo humano, alimentaria, socio-económica, para la sustentabilidad ambiental, y la generación eléctrica (Enayati, Bozorg-Haddad1, Fallah-Mehdipour, Zolghadr-Asli, & Chu, 2021; Groves, New Methods for Identifying Robust Long-Term Water Resources Management Strategies for California, 2006); es altamente dependiente de las condiciones climáticas.

Asimismo, la planificación de infraestructura hídrica se debe desarrollar dentro del marco estratégico definido por el Estado y los Gobiernos a cargo de su implementación. Actualmente, los lineamientos gubernamentales reconocen la seguridad hídrica como un pilar fundamental de la agenda ambiental y de desarrollo sostenible, promoviendo la adaptación ante la crisis climática y la escasez de agua. Para esto se ha considerado la implementación de una transición

hídrica justa y nueva institucionalidad ambiental, con el objetivo de garantizar el derecho humano al agua y saneamiento, impulsar transformaciones institucionales para una gestión hídrica más eficiente, proteger los ecosistemas y fomentar la investigación y desarrollo en temas hídricos, promover infraestructura resiliente y adaptativa, así como incorporar un enfoque de género en las políticas y acciones relacionadas con los recursos hídricos (MMA, 2022).

Bajo este contexto de incertidumbre y la necesidad de la generación de alternativas integrales para la toma de decisión sobre infraestructura hídrica, sus posibles consecuencias y las condiciones para su implementación, se propone utilizar metodologías asociadas a la “Toma de decisiones bajo profundas incertidumbres” (DMDU por sus siglas en inglés), las cuales tienen por objetivo preparar y adaptar estrategias frente a eventos inciertos.

Marchau et al. (2019) menciona que, en general, cada uno de los enfoques DMDU consiste en los siguientes elementos y pasos:

- Enmarcar el análisis:
 - Formular la situación desencadenante (problema u oportunidad)
 - Especificar la estructura del sistema y sus límites
 - Especificar objetivos/metas e indicadores de resultados
 - Especificar políticas
- Realizar análisis de incertidumbre exploratorios:
 - Especificar incertidumbres o desacuerdos sobre factores externos, estructura del sistema, indicadores de resultados y valoración de resultados.
 - Explorar los resultados de las políticas y sus vulnerabilidades (y oportunidades), dadas las incertidumbres (usando modelos u opiniones de expertos).
- Elegir acciones iniciales y acciones contingentes:
 - Ilustrar las consecuencias detectadas mediante el análisis, y los medios para ajustes futuros a medida que los eventos suceden y se adquiere conocimiento.
 - Seleccionar y planificar la adopción de la política (inicial) y los mecanismos de ajuste.
 - Plan de comunicación, seguimiento y la posibilidad de implementar adaptaciones a la política
- Iterar y reexaminar

Entre las diferentes metodologías DMDU identificadas por Marchau et al. (2019), para este estudio se utiliza una adaptación a la metodología para la “Toma de Decisiones Robusta” (RDM por sus siglas en inglés). Esta metodología ha sido aplicada por diferentes organizaciones para la planificación de infraestructura hídrica (BID, 2021; Groves, New

Methods for Identifying Robust Long-Term Water Resources Management Strategies for California, 2006; Siddiqi, Ereiqtat, & Diaz Anadon, 2016), con el objetivo de caracterizar las amenazas a largo plazo sobre la gestión del agua y evaluar la solidez de las diferentes opciones de gestión e inversión frente a las metas que se desean alcanzar. RDM es un proceso iterativo que incluye una combinación de participación de actores, modelamiento y análisis para dar cuenta de incertidumbres de difícil abordaje, como efectos del cambio climático, y para facilitar consenso sobre acciones que comprendería una estrategia sólida. Se ha utilizado con éxito en ejercicios de multinuales para apoyar la planificación del agua en América Latina¹ (BID, 2021).

Para el presente estudio, la metodología RDM será modificada, con el objetivo de ajustar la escala de análisis a nivel regional, con información de entrada proveniente, principalmente, de fuentes secundarias. Asimismo, esta metodología modificada podrá visibilizar aquellas brechas de gestión y medidas no estructurales necesarias para alcanzar los lineamientos estratégicos definidos a nivel regional y nacional en temas de infraestructura.

Las metodologías por aplicar a cada paso del proceso RDM se presentan en los siguientes acápite:

- Paso 1. Estructura de contexto de decisión: En este paso se presentan las visiones y objetivos estratégicos para cada región; las acciones que existen para lograr dichos objetivos, presentados a través de los requerimientos actuales y proyectados de infraestructura; y las incertidumbres que pudiesen afectar la implementación de dichas acciones, ya sean legales, institucionales, de planificación, ambientales o socioculturales.
- Paso 2. Identificación de escenarios de desarrollo: A partir del marco de decisión definido en el Paso 1, se identificarán posibles escenarios futuros plausibles para el comportamiento de las demandas hídricas basados en las incertidumbres clave definidas por los actores institucionales regionales.
- Paso 3. Análisis de vulnerabilidad y Paso 4. Análisis de disyuntivas: Se identifican las vulnerabilidades clave que afectan el comportamiento de las demandas hídricas, considerando umbrales de desempeño basado en los resultados del Paso 2.

Para mayor detalle de esta metodología, ver Anexo B – Enfoque metodológico.

¹ Lima, Perú; Monterrey, México; y La Paz, Bolivia.

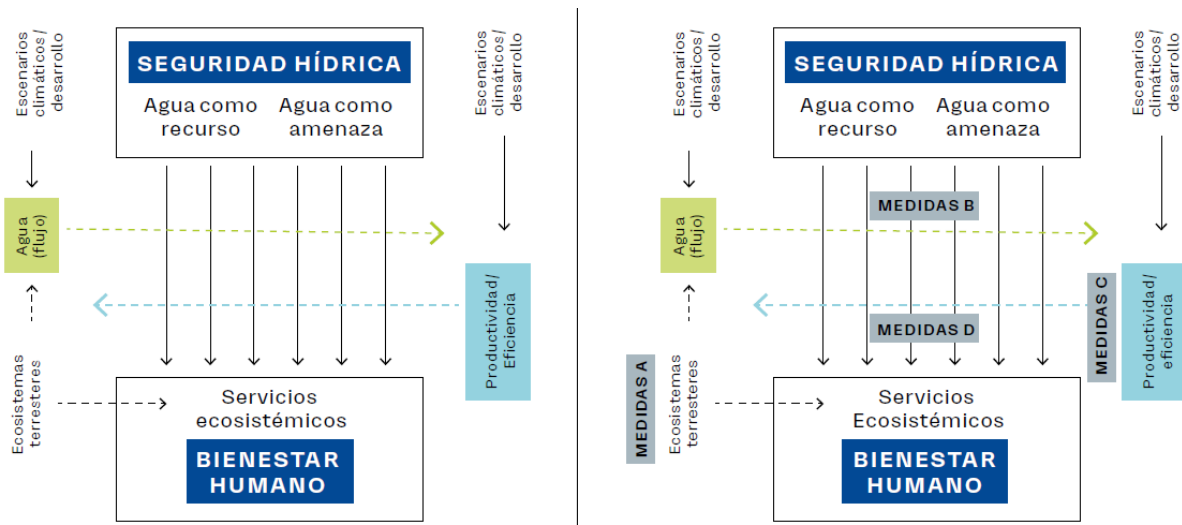
4.2 DIMENSIONES Y VISIÓN ESTRATÉGICA DEL ESTUDIO

4.2.1 Marco conceptual

Para definir los objetivos estratégicos en el presente estudio, se debe considerar el objetivo general, en el cual se indica la necesidad de *“contribuir con propuestas estratégicas en la componente hídrica del Plan Director de Infraestructura 2025-2055 con la finalidad de promover una mayor seguridad hídrica nacional para el desarrollo sostenible en el marco del cambio climático”*.

En este contexto, se debe considerar que Chile presenta una distribución espacial de fuentes hídricas heterogénea, en donde la cantidad y calidad del recurso dependerá de la ubicación geográfica de la demanda y, por ende, su gestión quedará supeditada a las decisiones de actores regionales y locales. Es debido a esto que, al hablar de seguridad hídrica no es suficiente referirse solo a garantizar el acceso equitativo del recurso físico, sino que es necesario identificar y evaluar a quienes son los responsables de gestionar las acciones que deben asegurar la sostenibilidad y resiliencia de los servicios que ofrecen los ecosistemas hídricos frente a diferentes amenazas en cada territorio (Álamos, et al., 2021; Banco Mundial, 2021). Considerando lo anterior, en el presente acápite se identifican algunas definiciones de seguridad hídrica en base a los antecedentes revisados anteriormente.

En primera instancia, en la publicación *“Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático”* (Stehr, et al., 2019) se define seguridad hídrica como *“la capacidad de una población para salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sostenimiento de los medios de vida, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para la conservación de los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política”*. Esta definición incluye un marco conceptual en el cual se reconoce la naturaleza del agua como un recurso (*“para el sostén de modos de vida, actividades productivas y ecosistemas”*) y como una amenaza (*“contaminación y desastres hidrometeorológicos”*); también se reconoce el rol que tienen los ecosistemas terrestres en proveer distintos servicios que van a contribuir a este bienestar humano, entre los cuales se encuentra la provisión y regulación de flujos de agua (ver Figura 4.2-1).



Fuente: Stehr et al. (2019) en base a Ocampo (2016)

Figura 4.2-1 Marco conceptual del rol que cumplen los servicios ecosistémicos, la seguridad hídrica y los niveles de productividad y eficiencia en el bienestar humano.

A partir del marco conceptual presentado anteriormente, Stehr et al. (2019) teorizan cuatro objetivos estratégicos:

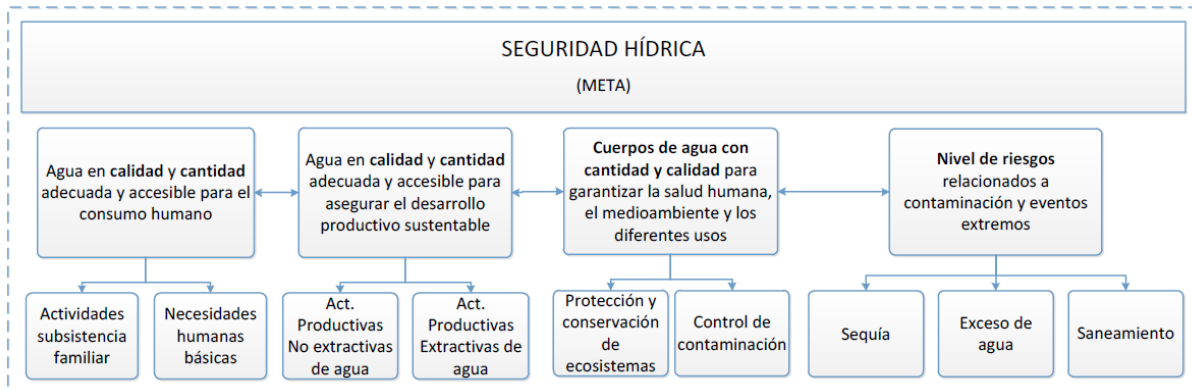
- i) Establecer medidas relacionadas con la protección y restauración de ecosistemas terrestres (medidas A).
- ii) Establecer medidas que tiendan a cambiar los flujos al interior del cauce —incluidos acuíferos— a través de infraestructura o cambios en las reglas de distribución (espacial y temporal) del agua disponible (medidas B).
- iii) Establecer medidas relacionadas a mejoras en productividad y eficiencia que logran mantener ciertos objetivos de bienestar humano según el contexto físico dado por la cantidad y calidad de agua (medidas C).
- iv) Establecer medidas que, sin mejorar el contexto físico ni los productos de este contexto, conservan o mejoran en forma directa el componente de bienestar humano que se ve amenazado (medidas D).

Estos objetivos fueron utilizados para priorizar los temas a tratar en el marco de la Mesa Agua del Comité Científico de Cambio Climático², en la que se seleccionaron cuatro temas: i) gobernanza del agua, ii) infraestructura para enfrentar la escasez hídrica, iii) calidad del agua, y iv) análisis de medidas de adaptación existentes relacionadas a los recursos hídricos en políticas, planes y estrategias actualmente vigentes.

Por otra parte, la Dirección General de Obras Públicas (DGOP) en su “Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para elaboración del Plan de

² Comité de asesores expertos conformado en el marco de la Conferencia de las Partes (COP) en su edición N°25 del año 2019.

Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático (2017)”, define Seguridad Hídrica como “Acceso al agua en un nivel de cantidad y calidad adecuada, definida por cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo, tanto para la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico y la conservación de los ecosistemas, manteniendo una alta resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y contaminación” (ver Figura 4.2-2).



Fuente: DGOP (2017)

Figura 4.2-2 Dimensiones de Seguridad Hídrica y sus desafíos críticos (sub-dimensión) propuestos para Chile.

Finalmente, en la Ley de Cambio Climático³ define la seguridad hídrica como “posibilidad de acceso al agua en cantidad y calidad adecuadas, considerando las particularidades naturales de cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo para consumo humano, la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico, conservación y preservación de los ecosistemas, promoviendo la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías y crecidas y la prevención de la contaminación.”

4.2.2 Visión estratégica del estudio

La visión estratégica para este estudio se desarrolla a partir de la visión estratégica de largo plazo construida para Plan Director de Servicios de Infraestructura 2025-2055 (PDSI), la cual abarca todos los servicios de infraestructura que presta el Ministerio de Obras Públicas.

En temas hídricos, la visión a largo plazo destaca la importancia estratégica del agua para las personas, la economía y la conservación de la biodiversidad en Chile; se reconoce la crisis hídrica como un desafío urgente que debe abordarse con carácter prioritario. Asimismo, se incluye destacar a nivel mundial en hidrógeno verde, desalación planificada adecuadamente, entre otros aspectos; impulsados a través de la infraestructura necesaria,

³ Ley N°21.455 de 2022 Marco de Cambio Climático, del Ministerio de Secretaría General de la Presidencia

diseñada e implementada bajo el criterio de resiliencia, para que pueda soportar los impactos del cambio climático.

4.2.3 Definición de dimensiones

Para el presente estudio, se considerarán las siguientes dimensiones de seguridad hídrica bajo las cuales se alineará la planificación estratégica de infraestructura hídrica. Los detalles de los antecedentes utilizados para esta definición se presentan en el Anexo D del Informe Nacional.

1. Dimensión para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia

El objetivo de esta dimensión es garantizar el acceso universal a los servicios de infraestructura básicos, particularmente en comunidades urbanas y rurales marginadas y desatendidas. Esto incluye garantizar el derecho humano al agua a través de servicios de agua potable y saneamiento suficientes, seguros, aceptables, accesibles y asequibles. También busca proporcionar infraestructura de calidad para reducir las disparidades territoriales, promover la equidad social y la igualdad de oportunidades, y mejorar la calidad de vida, con un enfoque inclusivo de género. Este objetivo prioriza el apoyo a asentamientos rurales más pequeños, mejorar el acceso a los servicios básicos y desarrollar infraestructura estratégica para fomentar el crecimiento sostenible en dichas zonas. Además, establece estándares mínimos de calidad y cobertura de infraestructura urbana para el consumo humano y saneamiento, y promueve proyectos de alta calidad en áreas que carecen de dichos servicios.

Otro objetivo es garantizar estándares de servicios de infraestructura básica que reduzcan la vulnerabilidad de las personas a los riesgos siconaturales, y reducir las brechas sociales y promover una mayor equidad en la prestación de servicios como el derecho al agua y al saneamiento. Da prioridad al desarrollo de iniciativas de saneamiento y reutilización de aguas residuales urbanas y rurales para mejorar el bienestar de la población, proteger la calidad ambiental y crear nueva disponibilidad de agua en áreas con escasez de agua, contribuyendo a la economía circular del agua. También se promueve la investigación e identificación de recursos hídricos nuevos y existentes para una gestión y uso eficiente, sostenible y asequible del agua, garantizando la calidad en diferentes aplicaciones. Además, busca mejorar la calidad, la sostenibilidad a largo plazo, y la administración de los servicios básicos en las zonas rurales, y revertir y prevenir la segregación social urbana.

Finalmente, también se incluye combinar la participación activa comunitaria y territorial con la confianza y solidez de las instituciones. Para esto se propone definir y monitorear el cumplimiento de los estándares de servicios de infraestructura y acceso

universal. Ampliar la red de monitoreo para brindar información detallada que apoye la toma de decisiones, tanto en la gestión y supervisión de los recursos hídricos para la sostenibilidad, como en el mantenimiento de los estándares de servicio que brindan las infraestructuras en todo el territorio, particularmente en situaciones de desastre. Identificar las diferencias de género en el ámbito rural, promoviendo la equidad, la participación y el desarrollo integral de las mujeres.

2. Dimensión para la producción sostenible y eficiencia hídrica

Esta dimensión tiene el fin de identificar y promover áreas productivas estratégicas en colaboración entre los sectores público, privado y de la sociedad civil para crear oportunidades de desarrollo sostenible en áreas como el hidrógeno verde, la transición energética y la ciencia. Para esto se propone fortalecer la infraestructura hídrica crítica para mejorar la competitividad y abordar los desafíos hídricos, particularmente en la agricultura y la silvicultura. Además, se propone el desarrollo de una infraestructura y gestión del agua multipropósito y resiliente al clima que aproveche las soluciones basadas en la naturaleza para fortalecer los servicios ecosistémicos. También se apunta a identificar oportunidades territoriales actuales y futuras para expandir la base económica de las áreas rurales a través de diversas actividades competitivas relacionadas con el agua, promoviendo el dinamismo económico local y el empleo. Finalmente, se enfatiza la importancia de la infraestructura estratégica de gestión del agua para permitir el desarrollo rural sostenible, al tiempo que considera los sistemas hídricos naturales como un apoyo fundamental para la planificación y el diseño de intervenciones.

Asimismo, se define desarrollar las ventajas tecnológicas vinculadas a los recursos naturales y el capital humano, promoviendo servicios de infraestructura especializados para sectores clave como la minería, la silvicultura, la acuicultura y la agroindustria. También se espera fomentar una transición socioecológica justa para la gestión sostenible de los recursos hídricos a nivel de cuenca, promoviendo prácticas, tecnologías y requisitos agregados reducidos del patrón de producción para conciliar el consumo de agua en diferentes sectores de demanda con la disponibilidad de agua a nivel de cuenca, promoviendo el equilibrio hídrico sostenible. Además, se propone implementar una gestión integrada del agua a nivel de cuenca, promoviendo infraestructura para gestionar su disponibilidad, con énfasis en aquellas áreas con escasez. Asimismo, se debe fomentar la investigación y la identificación de fuentes de agua nuevas y existentes para una gestión y calidad del agua eficiente, sostenible y asequible en diversos usos. Finalmente, se pretende promover mecanismos y medidas de incentivos para impulsar planes, programas e iniciativas que incrementen la eficiencia y el uso racional y sostenible del agua, basados en la modernización del sistema y el fomento de usos múltiples, incorporando criterios ambientales.

Como último objetivo, se deben desarrollar servicios de infraestructura supranacionales para abordar cuestiones estratégicas como la gestión del agua. Enfatizar la importancia de diseñar infraestructura que pueda adaptarse a la naturaleza variable y evolutiva de los territorios influenciados por las tendencias globales. Además, se espera promover la provisión de servicios de infraestructura que se adapten a los roles y jerarquías específicas de los centros de población, reconociendo los contextos ecosistémicos de cada territorio, al tiempo que se garantiza el cumplimiento de estándares mínimos de calidad.

3. Dimensión para la preservación ecosistémica

Con esta dimensión se espera enfatizar en la preservación de los ecosistemas, abogando por un desarrollo descentralizado y geográficamente equilibrado, con servicios de infraestructura, sistemas económicos productivos y asentamientos distribuidos de acuerdo con las diversas capacidades y aptitudes de cada territorio. Para lo que se propone desarrollar infraestructura hídrica multipropósito y resiliente al clima y soluciones de gestión basadas en sistemas naturales, que puedan salvaguardar y restaurar las fuentes de agua en cantidad y calidad, y fortalecer los servicios ecosistémicos críticos. Además, se deben integrar consideraciones de biodiversidad y servicios ecosistémicos en la planificación y regulación del uso de suelo rural, equilibrando la conservación y gestión de los ecosistemas acuáticos con las necesidades humanas de seguridad hídrica y promoviendo prácticas sostenibles de uso de la tierra para prevenir la desertificación y la erosión del suelo. Finalmente, se espera incentivar la restauración de áreas degradadas, así como establecer objetivos específicos de mejora ambiental para las ciudades en ámbitos como la eficiencia de los recursos hídricos.

También se espera evaluar los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de intervenciones en el territorio, e integrar este componente en políticas sectoriales específicas, normativas y planes especiales de fronteras, cauces y humedales costeros, lacustres y fluviales, generando conciencia sobre su valor y necesidad de protección, restauración, reparación y remediación. Para esto es clave la medición y monitoreo de las variables ambientales que caracterizan los servicios ecosistémicos, y la promoción de prácticas de construcción sostenible en la planificación. También se promueve el inventario, caracterización y difusión de información sobre las condiciones del suelo y cambios de uso del suelo, para anticipar y mitigar riesgos potenciales de alteración o degradación de sus funciones.

4. Dimensión para la resiliencia frente a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación

La finalidad de esta dimensión es establecer estándares de infraestructura fundamentales para reducir la vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, promover infraestructura resiliente, considerar factores socioeconómicos en los esfuerzos de adaptación, proteger a la población de los peligros provocados por el clima, invertir en soluciones ecológicas y basadas en la naturaleza, garantizar la compatibilidad de la infraestructura. y permitir medidas de adaptación y mitigación a través de la colaboración con instituciones académicas. También se centra en identificar zonas rurales vulnerables e implementar medidas de prevención, adaptación y mitigación para mejorar la seguridad, la calidad de vida, la resiliencia y el desarrollo sostenible.

4.3 GOBERNANZA E INSTITUCIONALIDAD INFRAESTRUCTURA HÍDRICA EN CHILE

Como se mencionó en el acápite anterior, uno de los principales pasos para toma de decisiones consiste en especificar la estructura del sistema de infraestructura hídrica, sus límites y las políticas en las cuales se enmarca. Bajo este contexto, a continuación, se presenta una caracterización de la institucionalidad y gobernanza hídrica en Chile, enfocada en la gestión de infraestructura.

4.3.1 Aspectos legales

Primero, se debe considerar que el marco jurídico para la gestión de recursos hídricos continentales en Chile es dado por la Constitución Política de la República, el Código de Aguas y el Código Civil (Billi, et al., 2021). Si bien el Código Civil consigna la naturaleza del agua como bien nacional de uso público, y la Constitución consagra “los derechos de los particulares sobre las aguas”, es el Código de Aguas (CdA) quien define las disposiciones para la gestión de los recursos hídricos. Es por esto que la última modificación al CdA⁴ cobra relevancia en este estudio, ya que reconoce y define a las aguas subterráneas y aguas superficiales dentro de una cuenca como parte de una misma corriente, representando un bien nacional de uso público cuyo aprovechamiento productivo debe ser sostenible, priorizando el consumo humano, y resguardando la preservación ecosistémica (Alvarez-Garretón C. , et al., 2023).

Por otra parte, el Banco Mundial (2021) indica la importancia de establecer normas o regulaciones orientadas hacia la resiliencia para asegurar un uso beneficioso y razonable de los recursos hídricos disponibles tomando en cuenta los impactos e incertidumbres del cambio climático.

⁴ Ley N°21.435 de 2022 Reforma el Código de Aguas, del Ministerio de Obras Públicas

Bajo este contexto, cabe señalar que existe una serie de leyes y normativas que condicionan la planificación de requerimientos de infraestructura hídrica. Entre dichas normativas destacan:

- Ley de Medio Ambiente⁵: establece un marco general de regulación del derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental. Para esto, la ley exige el cumplimiento de planes de manejo y la elaboración de Estudios y Declaraciones de Impacto Ambiental para la ejecución de obras o actividades que susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases.
- Ley de Cambio Climático⁶: establece un marco jurídico para hacer frente a los desafíos que presenta el cambio climático, definiendo el concepto de Seguridad Hídrica e introduciendo diferentes instrumentos que permitirán fortalecer la infraestructura hídrica para que sea capaz de resistir y recuperarse de los impactos adversos del cambio climático, garantizando así la disponibilidad y calidad del recurso hídrico.
- Ley de Servicios Sanitarios⁷: establece un marco jurídico e institucional que regula la prestación de servicios sanitarios rurales, estableciendo disposiciones relacionados a garantizar el abastecimiento de agua de calidad, en cantidad y con continuidad para todos los usuarios que se encuentren dentro del área de servicio. Asimismo, instaura la constitución de un fondo de reserva legal destinado a la reposición y ampliación de largo plazo de la infraestructura, buscando promover la resiliencia de la infraestructura de los servicios sanitarios rurales, asegurando su adecuado mantenimiento y reposición para garantizar la continuidad y calidad de los servicios, así como su capacidad de adaptación frente a posibles eventos adversos.
- Ley de Riego⁸: establece la bonificación del costo de estudios, construcción y rehabilitación de obras de riego o drenaje, equipos y elementos de riego, proyectos con nuevas fuentes de agua y tecnologías; todo esto con el objetivo de contribuir a la eficiencia en el uso del agua. Asimismo, aborda la seguridad hídrica para consumo humano estableciendo que la bonificación de proyectos tiene como objetivo contribuir a la seguridad hídrica, lo que implica la garantía de un suministro adecuado y sostenible del agua.
- Ley de Embalses⁹: establece la obligación de los operadores de control de elaborar un Manual de Operación que contemple un Plan de Contingencia de Crecidas.

⁵ Ley N°19.300 de 1994 sobre Bases Generales de Medio Ambiente, del Ministerio de Medio Ambiente

⁶ Ley N°21.455 de 2022 Marco de Cambio Climático, del Ministerio de Secretaría General de la Presidencia

⁷ Ley N°20.998 de 2017 Regula los Servicios Sanitarios Rurales, del Ministerio de Obras Públicas

⁸ Ley N°18.450 de 1985 Aprueba normas para el fomento de la inversión privada en obras de riego y drenaje, del Ministerio de Agricultura

⁹ Ley N°20.304 de 2008 Sobre operación de embalses frente a alertas y emergencias de crecidas y otras medidas que indica el Ministerio de Obras Públicas.

- Ley de Infraestructura Hídrica y Desalinización¹⁰: modifica normas para el desarrollo de proyectos de infraestructura hídrica y desalinización, con el fin de destinar agua al cumplimiento de la función de subsistencia y de riego. Por otra parte, también menciona el ofrecimiento de las aguas resultantes y su producción a prestadores de servicios sanitarios para dar cumplimiento al derecho humano de acceso al agua potable y saneamiento. Por último, se establece que la infraestructura hídrica debe velar por la preservación ecosistémica y la sustentabilidad acuífera.
- Ley de protección de humedales urbanos¹¹: tiene la finalidad de proteger los humedales urbanos declarados por el ministerio del medio ambiente, entendido por todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de aguas.

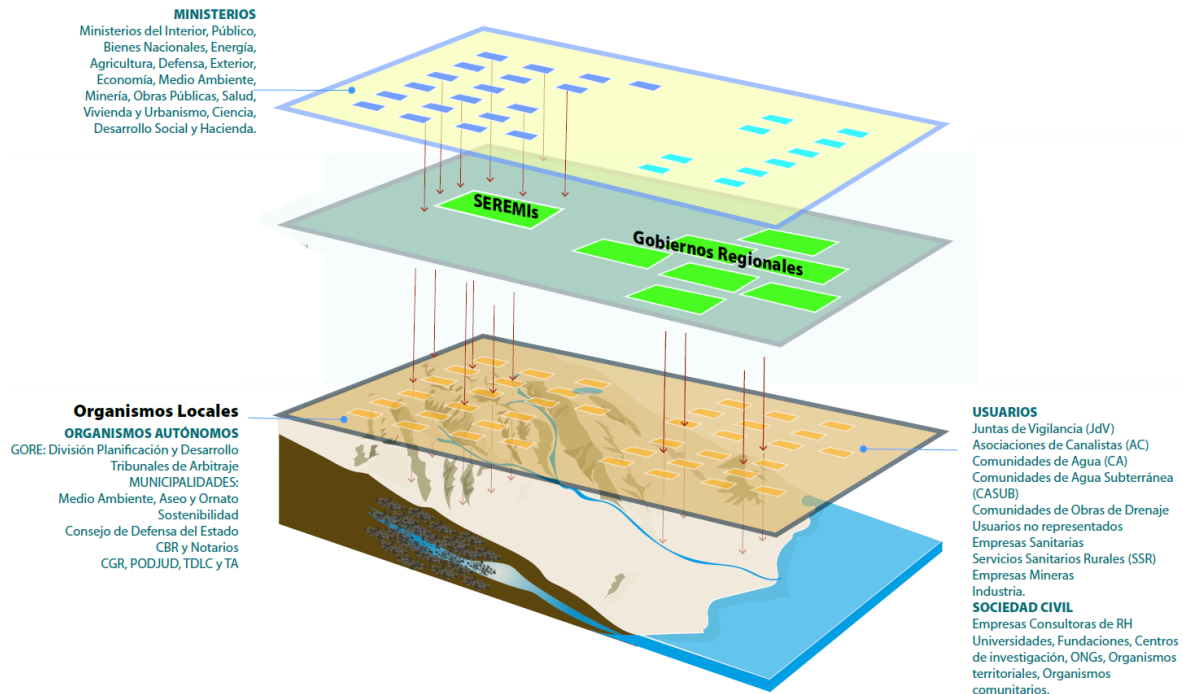
Para más información respecto a aspectos legales, ver acápite 3.2.

4.3.2 Aspectos institucionales

Si bien el recurso hídrico es un bien nacional de uso público que desde un punto de vista político posee una gobernanza centralizada, con más de 40 instituciones públicas vinculadas a temas hídricos; de acuerdo a lo establecido en el Código de Aguas de 1981, su administración recae en los usuarios titulares de un Derecho de Aprovechamiento de Agua (DAA) (Hill, 2013; DGOP, 2017). Los usuarios titulares de DAA pueden conformar Organizaciones de Usuarios de Agua (OUAs), de las cuales el Código de Agua reconoce 3 tipos: Comunidades de Aguas, Asociaciones de Canalistas y Juntas de Vigilancias. Esta estructura de organización es esquematizada por Fundación Chile (2021) en la Figura 4.3-1, donde se identifican tres niveles de coordinación: nivel central o nacional, nivel regional y nivel local o de cuenca; y las organizaciones participantes en cada una.

¹⁰ Ley N°21.639 Modifica normas para el desarrollo de proyectos de infraestructura hídrica y desalinización, con el fin de destinar agua al cumplimiento de la función de subsistencia y de riego.

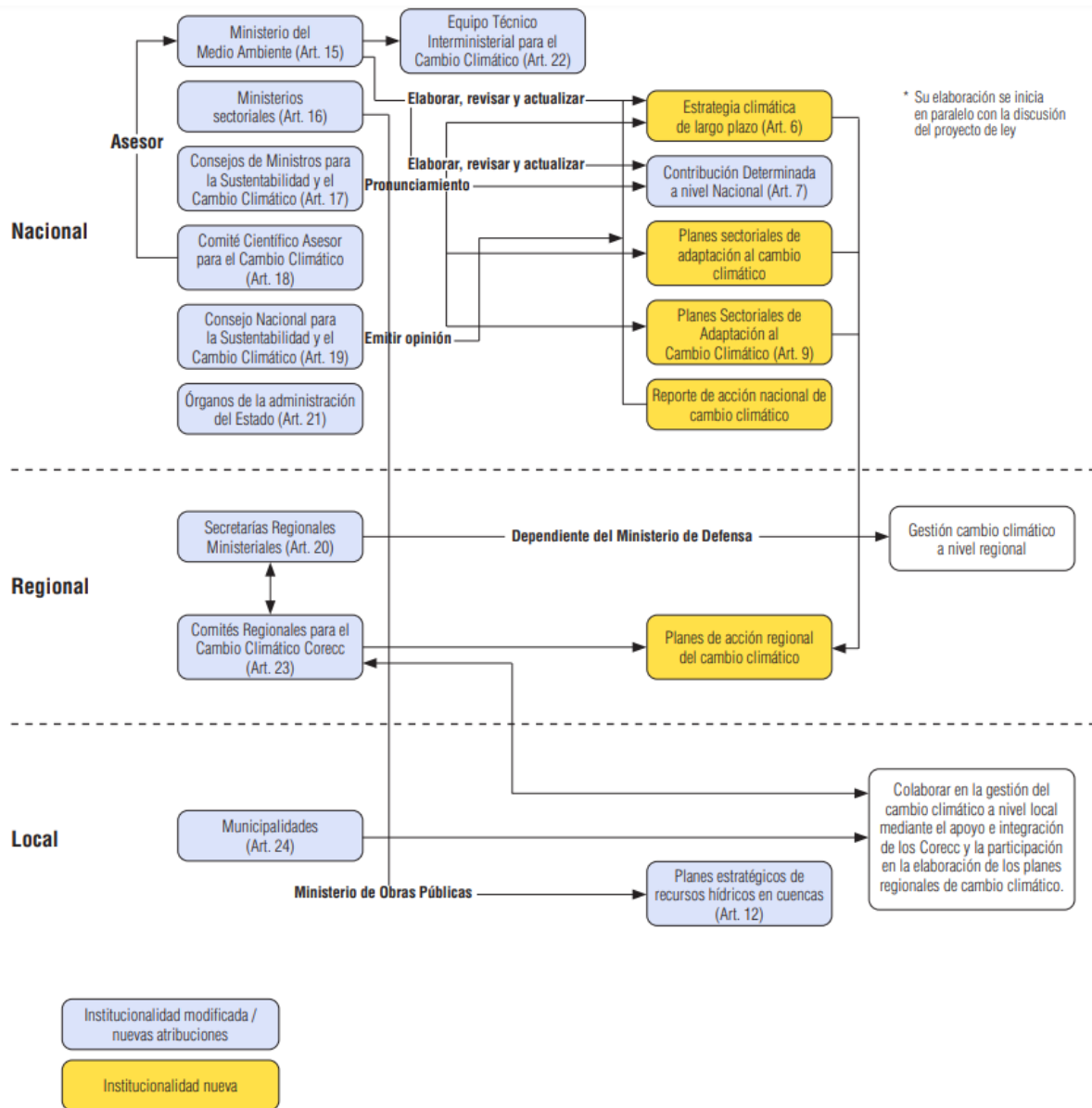
¹¹ Ley 21.202/2020 Modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos.



Fuente: Escenarios Hídricos (2021)

Figura 4.3-1 Esquema de los niveles de coordinación y organismos que actualmente se vinculan a la gestión hídrica de una cuenca.

Por otra parte, la Ley de Cambio Climático propone un nuevo modelo de gobernanza que incluye la coordinación de los niveles nacional, regional y local para organismos públicos (ver Figura 4.3-2).



Fuente: Melo, Rivera, & Vicuña (2020)

Figura 4.3-2 Diagrama simplificado de la institucionalidad que fija la ley marco de cambio climático

Bajo este contexto, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) cumple un papel fundamental en la gestión de los recursos hídricos y la infraestructura relacionada en Chile. Una de sus principales responsabilidades es la gestión de infraestructuras hídricas, que abarca desde la planificación hasta el mantenimiento de estructuras como embalses, canales, sistemas de riego y drenaje, entre otros; a cargo de Dirección de Obras Públicas (DOH) y Dirección de Planeamiento (DIRPLAN). Además, a través de la Dirección General de Aguas (DGA), se lleva a cabo la regulación y control de los recursos hídricos, otorgando las concesiones de DAA y fiscalizando el cumplimiento de normativas relacionadas con su uso. Asimismo, MOP juega

un papel crucial en la coordinación interinstitucional en temas hídricos, actuando como facilitador y coordinador entre diferentes entidades gubernamentales, regionales y locales, promoviendo la colaboración y la implementación de políticas integradas para una gestión eficiente y sostenible del agua en todo el país. Asimismo, participa en la planificación estratégica de los recursos hídricos; colabora en la elaboración de planes y programas estratégicos que buscan garantizar el uso sostenible del agua, prevenir desastres naturales relacionados con el agua y fomentar la eficiencia en su gestión, todo ello en línea con los principios de desarrollo sostenible y cuidado ambiental.

En conclusión, y de acuerdo a lo señalado en el último reporte de Seguridad Hídrica a la Naciones (Alvarez-Garreton C. , et al., 2023), la fragmentación presentada dificulta una buena coordinación y articulación entre la gestión de recursos hídricos y otros los sectores ligados al agua, entre territorios urbanos y rurales, entre actores públicos y privados, y dentro del mismo Estado entre instituciones nacionales y locales, conducen a una gestión poco sinérgica, a medidas contradictorias o a escasez de recursos y acciones. También que existe una escasa participación de actores territoriales en esta gobernanza, ya que se ven condicionados por una gestión enfocada en los DAA y su titularidad, marginalizando a usuarios de agua no titulares de DAA, pero con interés y potencial en contribuir en mecanismos locales de adaptación ante la escasez, como Juntas de Vecinos, organizaciones ambientales, Comunidades Indígenas, academia, etc.

4.3.3 Aspectos de planificación estratégica

La planificación de recursos hídricos en Chile se considera limitada (Stehr, et al., 2019), enfocada en medidas extraordinarias y de emergencia, lo que evidencia una gestión mayormente reactiva e insuficiente ante las prolongadas sequías que ha enfrentado el país y proyecciones futuras.

En este contexto, resalta la importancia de una planificación estratégica integral y sostenible, para lo cual se deben tener en cuenta los principales desafíos identificados para lograr dicho propósito en Chile (Billi, et al., 2021; Stehr, et al., 2019; Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015; Alvarez-Garreton C. , et al., 2023; Banco Mundial, 2021):

- Información insuficiente y desactualizada: La falta de datos completos y actualizados sobre condiciones hidroclimáticas, calidad del agua y derechos de aprovechamientos de agua (DAA) conduce a la incertidumbre sobre el balance hídrico de las cuencas en Chile y dificulta la toma de decisiones informadas en la planificación hídrica. Esta situación subraya la necesidad de mejorar los sistemas de monitoreo y recopilación de información para respaldar políticas efectivas.

- **Falta de participación y coordinación:** La ausencia de una participación amplia de los usuarios y otros actores interesados no titulares de DAA, así como la falta de coordinación entre territorios urbanos y rurales, actores públicos y privados, y entre instituciones nacionales y locales, conduce a una gestión poco sinérgica y a medidas contradictorias. Se requiere un enfoque más inclusivo y coordinado para abordar los desafíos de manera integral que consideren particularidades físicas, bióticas, demográficas, económicas, sociales y culturales de cada cuenca.
- **Educación y concientización:** Se levanta la necesidad de programas educativos, desde niveles pre-básicos, para promover el conocimiento y uso eficiente de los recursos hídricos, lo cual puede requerir esfuerzos adicionales en términos de capacitación, difusión y seguimiento de los planes.
- **Necesidad de reformas institucionales:** La fragmentación institucional genera duplicidades en la ejecución de funciones, vacíos por omisión y problemas de coordinación entre los diferentes organismos vinculados a la gestión hídrica. A esto se suma el bajo nivel de financiamiento destinado a la planificación de recursos hídricos, dificultando la priorización de proyectos y la ejecución eficiente de las inversiones.
- **Coherencia y articulación normativa:** Si bien se han realizado avances respecto a mecanismos para la asignación de los recursos hídricos, y reformas que permitan garantizar el consumo humano, es fundamental asegurar la coherencia y articulación entre las diferentes normativas relacionadas con el agua para evitar conflictos, superposiciones y vacíos legales que puedan obstaculizar una gestión integrada y eficaz de los recursos hídricos.
- **Sobretorgamiento de Derechos de Aprovechamiento de Aguas:** No considerar la dinámica y complejidad de los procesos hidro-ecológicos y las condiciones climáticas cambiantes al momento de asignar DAA, lleva a un sobretorgamiento de derechos sobre la fuente, representando un riesgo para la seguridad hídrica a largo plazo. Es esencial desarrollar políticas y acciones que consideren la resiliencia climática en la gestión de recursos hídricos.

4.3.4 Aspectos en el desarrollo económico-productivo

El agua permite la producción de bienes y la provisión servicios de interrelacionados entre sí, como lo son bienes agrícolas, industriales, abastecimiento de agua potable, entre otros servicios ecosistémicos; su consumo por las distintas actividades económicas está determinado por la cantidad y calidad del agua disponible. En este sentido, la competitividad

sectorial depende de la gestión del agua en función de sus características como recurso (Neme Castillo, Valderrama Santibáñez, & Chiatchoua, 2021).

Bajo dicho contexto, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2018) ha destacado la especial relevancia de las interrelaciones entre agua, energía y producción de alimentos, considerados como recursos clave para el desarrollo sostenible a nivel global y nacional. La forma específica de interrelación entre los tres elementos es, esencialmente, variable a lo largo del tiempo; responde a un conjunto de factores de contexto de carácter geográfico, económico, social, político y tecnológico. En el caso chileno, se observan períodos en los que cada uno de los componentes se desarrolla independientemente, con interacciones escasas y sin condicionamientos entre ellos; en otros momentos los actores se perciben como competidores y fuertemente conflictivos; y, por último, otros en los que se aprecian sinergias y convergencias favorables entre ellos (CEPAL, 2018).

En el escenario actual, CEPAL (2018) también indica que dicha relación ha dejado de ser un tema de decisión solamente a una escala nacional y de cuencas, por ejemplo, para intervenir sobre la matriz energética más adecuada para el país o para asignar los recursos hídricos a los distintos usos. Además, a nivel microeconómico, la realidad se manifiesta en la escala del productor individual, por ejemplo, cuando debe resolver acerca del uso de tecnologías que permiten aumentar la eficiencia hídrica y la productividad agrícola en su predio, a cambio de un mayor consumo energético, o decide transformarse en un auto productor. Por lo tanto, una dimensión de las políticas públicas sobre estos temas debe referirse a los incentivos, regulaciones y condiciones que afectan las decisiones de los usuarios individuales. La evolución de la relación presentada anteriormente muestra una importancia creciente de los productores individuales y de las políticas orientadas a un uso eficiente y conjunto de los recursos de agua y energía. Los programas con esa orientación dirigidos a apoyar a los usuarios en el ámbito del riego y el agua potable rural debieran mantenerse y reforzarse.

CAPÍTULO 5 DIAGNÓSTICO ACTUAL Y PROYECTADO DEL DESARROLLO DEL SECTOR HIDRICO NACIONAL

De acuerdo al análisis realizado por Bolados et al. (2023), se establece que la brecha hídrica se considerará en un sentido amplio como una brecha estratégica o una brecha de gestión, cuya distancia con respecto a una meta establecida puede ser cuantificada, ya sea mediante un volumen de agua (brecha hídrica en sentido cuantitativo) o mediante algún indicador definido por los planificadores del territorio.

Para efectos del presente estudio, se estimará una brecha hídrica vinculada al balance hídrico, brechas hídricas estratégicas y brechas de infraestructura.

5.1 ANÁLISIS DE BALANCE HÍDRICO

A continuación, se expone el análisis de la demanda hídrica, tanto superficial como subterránea y sus proyecciones. Asimismo, se aborda la disponibilidad y las proyecciones de la oferta hídrica. Lo anterior permite comprender el balance hídrico nacional e identificar las brechas presentes en este.

5.1.1 Análisis de demanda hídrica

En el presente acápite se cuantifica la demanda de agua actual y futura para el consumo de agua potable y los diferentes sectores productivos del recurso hídrico, tales como demanda agrícola, minera, industrial, entre otras.

Este punto se desarrolló teniendo como referencia principal, pero no excluyente, el documento “Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile” (DGA, 2017), el cual corresponde a un diagnóstico desagregado de las demandas de agua para el año 2015 y sus proyecciones futuras (años 2030 y 2040), a nivel de subcuencas. La demanda hídrica se estructura en dos categorías: Consuntiva – Extractiva y No Consuntiva – No Extractiva, las cuales se presentan a continuación.

5.1.1.1 Demanda hídrica consuntiva extractiva

En la Tabla 5.1-1 se presenta la proyección de la demanda hídrica consuntiva - extractiva distribuida por región en Chile, para el periodo 2023-2055. Asimismo, en la Tabla 5.1-2 y en la Figura 5.1-1 se muestra la distribución de la demanda hídrica consuntiva – extractiva para el año 2023, desglosada por región y sector de uso. Los resultados detallados de este análisis, por cuenca hidrográfica, pueden consultarse en el apartado 2.2 de los informes regionales.

Tabla 5.1-1 Proyección de la demanda hídrica consuntiva y extractiva por región en Chile (2023-2055)

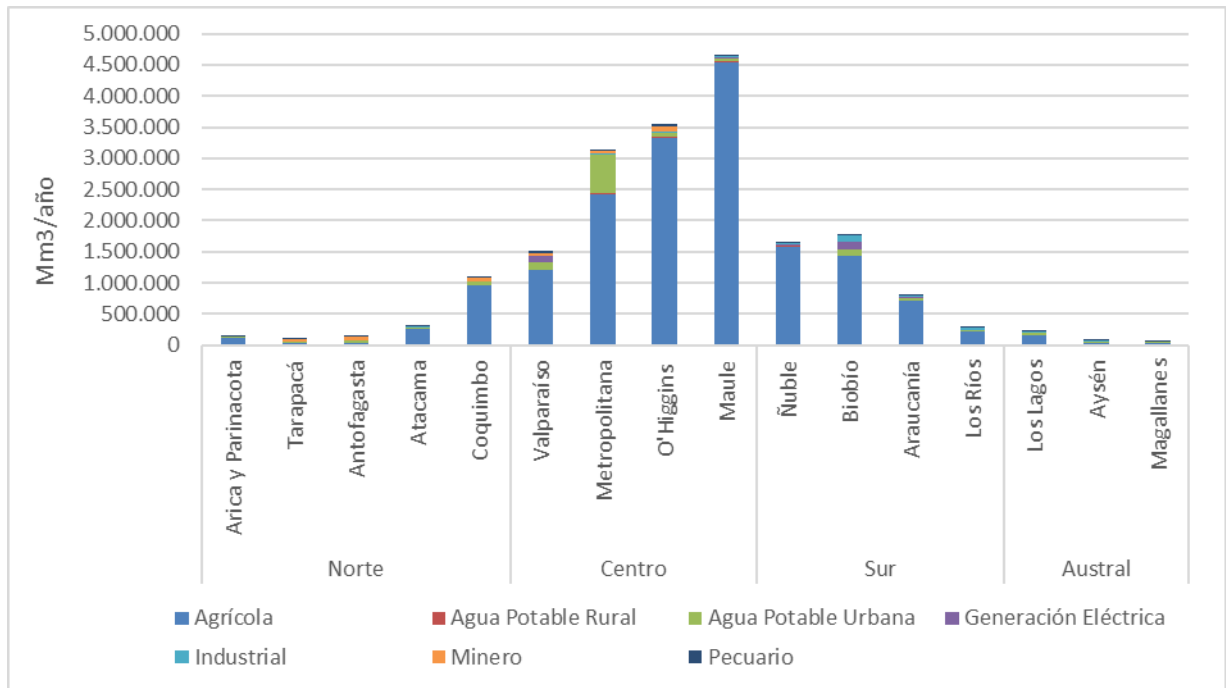
Zona	Región	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
Norte	Arica y Parinacota	130.448	154.711	155.537	154.748	205.033
	Tarapacá	97.896	108.439	88.798	100.888	114.305
	Antofagasta	133.487	123.149	102.238	110.865	114.026
	Atacama	306.267	296.120	309.021	345.923	393.576
	Coquimbo	1.078.001	1.037.848	1.073.702	1.189.731	1.289.493
Centro	Valparaíso	1.511.965	1.453.529	1.697.239	1.983.929	2.401.421
	Metropolitana	3.145.472	2.984.166	3.265.529	3.458.526	3.934.721
	O'Higgins	3.543.819	3.381.161	3.646.722	3.974.133	4.726.548
	Maule	4.648.069	4.406.933	4.880.339	4.961.802	5.089.808
Sur	Ñuble	1.633.813	1.904.044	2.119.577	2.056.502	2.409.332
	Biobío	1.765.539	2.066.830	2.444.467	2.450.206	3.128.415
	Araucanía	807.790	821.702	962.001	973.043	1.178.166
	Los Ríos	288.973	299.570	393.895	408.303	545.150
Austral	Los Lagos	234.390	289.368	336.619	350.914	549.344
	Aysén	79.870	87.405	114.942	143.632	195.184
	Magallanes	60.056	67.284	81.748	94.584	118.080
Total		19.465.855	19.482.259	21.672.375	22.757.728	26.392.600

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.1-2 Demanda hídrica para 2023 por región y sector de uso (Consumitivo y Extractivo)

Zona	Región	Agrícola	Agua Potable Rural	Agua Potable Urbana	Generación Eléctrica	Industrial	Minero	Pecuario	Totales
Norte	Arica y Parinacota	114.322	992	14.056	0	218	432	428	130.448
	Tarapacá	25.644	651	22.894	0	0	48.578	129	97.896
	Antofagasta	29.529	939	39.031	0	11.771	52.092	125	133.487
	Atacama	254.406	1.150	18.526	0	16.226	15.547	412	306.267
	Coquimbo	957.062	8.808	44.808	0	263	64.193	2.867	1.078.001
	Total	1.380.963	12.540	139.315	0	28.478	180.842	3.962	1.746.099
Centro	Valparaíso	1.196.836	11.302	112.367	115.169	6.594	39.690	30.007	1.511.965
	Metropolitana	2.424.714	17.214	608.875	8.406	25.254	34.355	26.654	3.145.472
	O'Higgins	3.333.804	20.088	53.442	9.224	17.515	82.786	26.960	3.543.819
	Maule	4.536.471	18.401	52.627	6.928	28.734	0	4.908	4.648.069
	Total	11.491.825	67.005	827.311	139.727	78.097	156.831	88.529	12.849.325
Sur	Ñuble	1.568.797	17.857	19.931	8.110	16.485	0	2.633	1.633.813
	Biobío	1.432.093	6.369	93.975	117.990	112.454	25	2.633	1.765.539
	Araucanía	704.093	9.907	48.437	16.922	20.059	0	8.372	807.790
	Los Ríos	208.319	5.168	17.318	2.627	43.583	0	11.958	288.973
	Total	3.913.302	39.301	179.661	145.649	192.581	25	25.596	4.496.115
Austral	Los Lagos	156.995	4.774	37.399	0	17.541	0	17.681	234.390
	Aysén	39.525	1.600	5.934	0	29.440	824	2.547	79.870
	Magallanes	42.174	185	12.954	5	443	0	4.295	60.056
	Total	238.694	6.559	56.287	5	47.424	824	24.523	374.316
Total	17.024.784	125.405	1.202.574	285.380	346.580	338.522	142.610	19.465.855	

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-1 Distribución regional de la demanda hídrica para 2023 por uso (Consumitivo y Extractivo)

i. Zona Norte

En el norte de Chile, la demanda hídrica total proyectada para el año 2025 alcanza los 1.746.099 Mm³/año, destacándose especialmente la región de Coquimbo, que concentra la mayor parte de esta demanda, con 1.078.001 Mm³/año. Esta región presenta un consumo elevado en los sectores agrícola (957.062 Mm³/año) y minero (64.193 Mm³/año). En contraste, las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama muestran demandas moderadas, representando el 7%, 6%, 8% y 18% de la demanda total regional, respectivamente.

ii. Zona Centro

En la zona centro, se observa una mayor concentración de la demanda hídrica, especialmente en las regiones de O'Higgins y Maule, que presentan las mayores demandas en la zona. Maule lidera con una demanda de 4.648.069 Mm³/año, destacándose principalmente en los sectores agrícola y agua potable urbana. Le sigue O'Higgins con 3.543.819 Mm³/año, con una notable concentración en el sector agrícola, seguido por el minero.

Si bien la región Metropolitana tiene una demanda significativa de 3.145.472 Mm³/año, esta se distribuye principalmente entre el sector agrícola y agua potable urbana. En

Valparaíso, la agricultura es el sector más demandante, y también se presenta un consumo relevante de agua potable urbana.

iii. Zona Sur

La zona sur muestra un patrón de demanda hídrica moderado, con un total de 4.496.11 Mm³/año, destacándose la región de Biobío como la más demandante, con 1.765.539 Mm³/año, en gran parte debido a la fuerte presencia de la industrial. En esta zona, la agricultura sigue siendo un sector importante, con 1.568.797 Mm³/año en Ñuble. En general, se observa una demanda hídrica diversificada entre los sectores, con énfasis en los sectores agropecuario e industrial.

iv. Zona Austral

Finalmente, en el sur austral, la demanda total es considerablemente menor, alcanzando los 374.316 Mm³/año. En Los Lagos, la demanda hídrica es de 234.390 Mm³/año, siendo la agricultura el sector principal, aunque a una escala más reducida en comparación con las regiones del norte y centro. Las regiones de Aysén y Magallanes presentan demandas bajas en todos los sectores, reflejando su menor nivel de urbanización y actividad económica.

En conclusión, los datos muestran que la demanda hídrica para el año 2025 está concentrada principalmente en las regiones del norte y centro, con un énfasis en la agricultura y agua potable urbana, mientras que en las zonas sur y austral la demanda es menor, reflejando un menor nivel de urbanización y actividad económica. Este patrón refleja las diferencias en el uso del agua según las características económicas y geográficas de cada región.

Es clave resaltar la minería como un sector de alta demanda en el norte, mientras que el sector industrial se destaca en el centro y sur. La agricultura sigue siendo el principal consumidor en términos absolutos, especialmente en el centro-sur del país.

5.1.1.2 Demanda hídrica no consuntiva y no extractiva

A continuación, en la Tabla 5.1-1 se presenta la proyección de la demanda hídrica no consuntiva y no extractiva por región en Chile, para el periodo 2023-2055. Asimismo, en la Tabla 5.1-2 y en la Figura 5.1-1 se muestra su distribución para el año 2023, desglosada por región y sector de uso. Los resultados detallados de este análisis, por cuenca hidrográfica, pueden consultarse en el apartado 2.2 de los informes regionales.

Tabla 5.1-3 Proyección de la demanda hídrica no consuntiva y no extractiva por región en Chile (2023-2055)

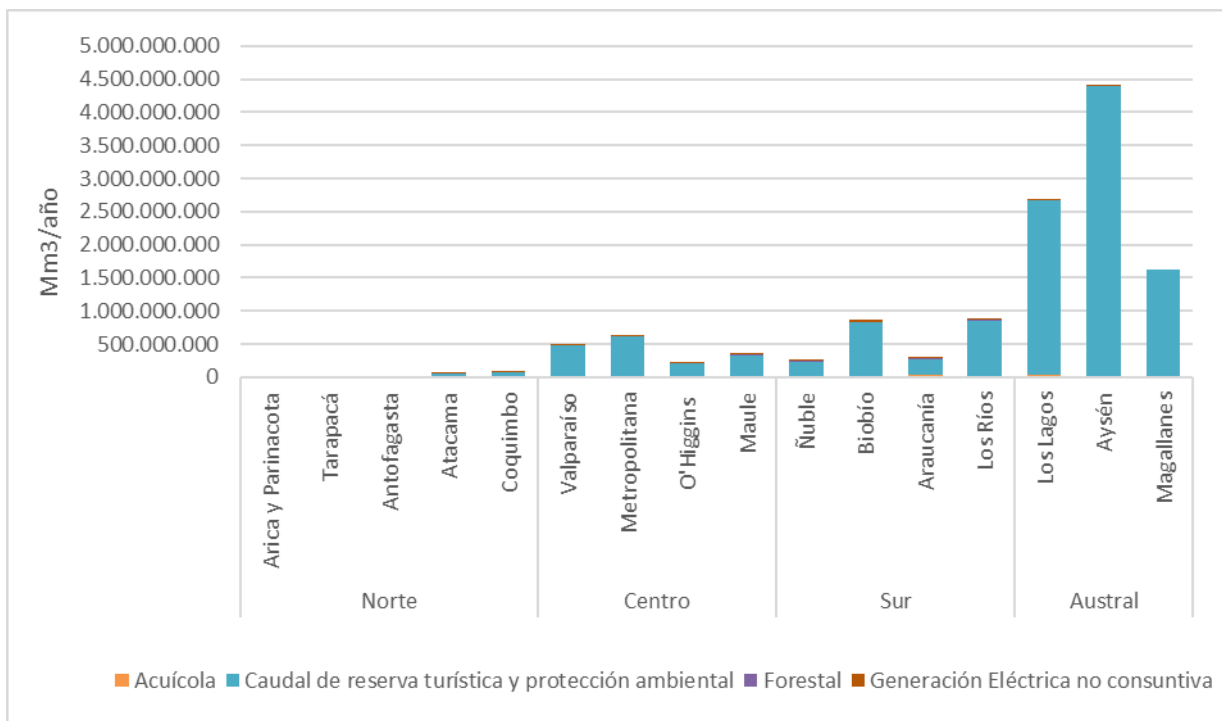
Zona	Región	Demanda (Mm ³ /año)				
		2023	2025	2035	2045	2055
Norte	Arica y Parinacota	32.861	32.864	32.864	32.870	32.871
	Tarapacá	44.425	45.614	47.523	51.254	52.234
	Antofagasta	61.357	61.359	61.364	61.375	61.385
	Atacama	52.347.778	52.372.025	52.373.269	52.374.532	52.375.768
	Coquimbo	80.005.189	80.168.615	80.205.948	80.335.184	80.353.853
	Total	132.491.610	132.680.476	132.720.968	132.855.215	132.876.111
Centro	Valparaíso	479.201.113	479.202.277	478.681.017	478.469.978	478.479.416
	Metropolitana	610.276.344	611.452.761	608.471.834	606.345.332	606.216.462
	O'Higgins	222.599.511	223.744.925	222.485.124	221.795.358	221.132.140
	Maule	349.757.618	352.968.684	348.815.380	343.922.010	340.225.061
	Total	1.661.834.586	1.667.368.647	1.658.453.355	1.650.532.678	1.646.053.079
Sur	Ñuble	242.214.505	241.497.739	241.991.836	242.578.642	243.148.758
	Biobío	875.820.715	868.677.519	863.569.069	855.902.694	851.618.423
	Araucanía	285.275.025	283.270.269	270.501.026	260.381.698	260.470.527
	Los Ríos	867.814.841	867.385.301	859.906.565	853.638.430	853.594.960
	Total	2.271.125.086	2.260.830.828	2.235.968.496	2.212.501.464	2.208.832.668
Austral	Los Lagos	2.670.327.107	2.664.526.745	2.651.717.062	2.642.843.413	2.642.753.300
	Aysén	4.399.545.529	4.398.903.470	4.397.933.790	4.397.121.868	4.397.087.092
	Magallanes	1.630.934.347	1.630.911.145	1.630.758.485	1.630.478.777	1.630.428.988
	Total	8.700.806.983	8.694.341.360	8.680.409.337	8.670.444.058	8.670.269.380
Total	12.766.258.265	12.755.221.311	12.707.552.157	12.666.333.415	12.658.031.238	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.1-4 Demanda hídrica para 2023 por región y uso (No Consumitivo y No Extractivo), (Mm³/año)

Zona	Región	Acuícola	Caudal de reserva turística y protección ambiental	Forestal	Generación Eléctrica no consuntiva
Norte	Arica y Parinacota	0	32.801	40	20
	Tarapacá	1.160	1.892	967	40.406
	Antofagasta	0	59.989	1.368	0
	Atacama	0	52.316.667	1.127	29.984
	Coquimbo	271	79.841.667	75.153	88.098
Centro	Valparaíso	1.049	478.108.333	283.132	808.599
	Metropolitana	4.999.711	604.083.333	98.841	1.094.459
	O'Higgins	8	216.666.667	794.412	5.138.424
	Maule	3.762.177	330.408.333	4.204.435	11.382.673
Sur	Ñuble	8.366	238.000.000	3.729.480	476.659
	Biobío	4.119.417	822.916.667	10.458.494	38.326.137
	Araucanía	32.646.979	244.833.333	6.738.090	1.056.623
	Los Ríos	18.147.428	839.166.667	2.784.872	7.715.874
Austral	Los Lagos	36.186.729	2.627.583.333	1.051.061	5.505.984
	Aysén	2.472.586	4.396.416.667	354.494	301.782
	Magallanes	517.592	1.630.416.667	88	0
Total		102.863.473	12.560.853.016	30.576.054	71.965.722

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-2 Distribución regional de la demanda hídrica para 2023 por uso (No Consumitivo y No Extractivo)

v. Zona Norte

En el norte de Chile, la demanda hídrica es moderada. Coquimbo es la región con la mayor demanda en esta zona, con 79.841.667 Mm³/año en caudal de reserva y 88.098 Mm³/año en Generación Eléctrica No Consuntiva. Las otras regiones del norte (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama) tienen demandas menores, especialmente en acuicultura y forestal, con Atacama destacando por su alto caudal de reserva (52.316.667 Mm³/año).

vi. Zona Centro

La zona centro muestra una distribución más equilibrada de la demanda hídrica. La región Metropolitana tiene una alta demanda de 604.083.333 Mm³/año en caudal de reserva y 1.094.459 Mm³/año en Generación Eléctrica No Consuntiva. Maule y O'Higgins también tienen una demanda significativa, principalmente para caudales de reserva y Generación Eléctrica No Consuntiva, destacando Maule con 330.408.333 Mm³/año en caudal de reserva.

vii. Zona Sur

En el sur, la demanda hídrica varía según las regiones. Biobío es la región más demandante, con 822.916.667 Mm³/año en caudal de reserva y una gran cantidad de agua destinada a Generación Eléctrica No Consuntiva (38.326.137 Mm³/año). Ñuble, Araucanía y Los Ríos también tienen demandas moderadas, con una mezcla de uso para caudal de reserva y Generación Eléctrica.

viii. Zona Austral

La zona Austral de Chile presenta las mayores demandas de agua, especialmente en Los Lagos, con 2.627.583.333 Mm³/año en caudal de reserva, que es la cifra más alta de todas las regiones. También destacan en Generación Eléctrica No Consuntiva con 5.505.984 Mm³/año.

Aysén tiene una alta demanda en caudal de reserva (4.396.416.667 Mm³/año) lo que también refleja una importante necesidad de agua para la protección ambiental y otros usos. Magallanes, aunque con menores cifras, también muestra una demanda considerable en caudal de reserva (1.630.416.667 Mm³/año).

En conclusión, la zona Austral es la que presenta las mayores demandas de agua, destacando Los Lagos y Aysén debido a la fuerte dependencia de caudales de reserva. La zona Norte tiene demandas más bajas en comparación, especialmente en acuicultura y Generación Eléctrica No Consuntiva, mientras que la zona Centro también muestra una alta demanda, principalmente en Metropolitana, O'Higgins y Maule, con énfasis en la Generación Eléctrica No Consuntiva. La zona Sur, en general, tiene demandas moderadas, con énfasis en Biobío y Ñuble.

5.1.2 Análisis de oferta hídrica

A continuación, se exponen las consideraciones utilizadas en el análisis de la disponibilidad hídrica, tanto superficial como subterránea. Se presenta la oferta histórica y la proyectada para las regiones y a nivel nacional. Los resultados detallados de dicho análisis se encuentran reflejados en los informes regionales elaborados en el marco de este estudio.

La oferta hídrica, entendida como el volumen de agua disponible en un sistema hidrográfico, que considera tanto los aportes superficiales como subterráneos, es un elemento clave para la planificación y gestión sostenible de los recursos hídricos. Su estudio permite comprender la disponibilidad de caudal para el abastecimiento de las actividades de subsistencia y productivas, y para sustentar el equilibrio de los ecosistemas. Los factores climáticos, hidrológicos y geológicos, en conjunto con las demandas hídricas, condicionan la disponibilidad de agua y las relaciones entre la oferta superficial y subterránea.

5.1.2.1 Oferta hídrica de agua superficial

La oferta hídrica superficial se caracteriza por su alta variabilidad temporal y espacial, se encuentra determinada por la estacionalidad de los aportes, como precipitaciones, nieve y cauces naturales. El análisis sobre la oferta hídrica se plantea desde un punto de vista físico, en este caso como disponibilidad de agua, sin considerar los derechos de aprovechamiento de cada cuenca. Sin perjuicio de lo anterior, para el análisis de iniciativas específicas que requieren contar con DAA se considera la disponibilidad de la oferta legal. Por esto, en este estudio se considera como oferta de la fuente la escorrentía disponible para cada cuenca, obtenida del modelo VIC generado en el Balance Hídrico Nacional (DGA, 2022).

Las curvas de oferta hídrica actual (periodo 1985-2015), obtenidas del Balance Hídrico Nacional, fueron calculadas a partir del análisis de frecuencia realizado a las series anuales de caudal. Asimismo, a partir de la selección del GCM representativo de cada región se obtuvieron las curvas de excedencia para el periodo futuro, definido como la ventana 2025-2055.

Es importante mencionar que, si bien se dispone de valores para diferentes periodos de excedencia, la oferta hídrica superficial para la situación con recursos se asocia al caudal de 85% de probabilidad de excedencia en régimen natural, de modo de asegurar la cantidad de agua disponible para la gran mayoría de años. En el acápite 2.3.1.1 de los informes regionales, elaborados en el marco del presente estudio, se presentan los valores de caudal con probabilidad de excedencia del 85% para las situaciones histórica y futura, para las cuencas regionales. En la Tabla 5.1-5 se presenta la oferta por región, para un caudal con 85% de excedencia. A nivel nacional se observa un descenso de 7% en la oferta proyectada, lo que representa un desafío significativo para la gestión de los recursos hídricos.

Se debe tener en consideración la posible incidencia de los cambios proyectados en glaciares en el ciclo hidrológico, por lo que para la estimación de este efecto se consideraron los resultados presentados en el Balance Hídrico Nacional. En este, se presenta el aporte de escorrentía glaciar histórico a nivel de cuenca y la variación de escorrentía glaciar proyectada por los GCM a nivel de latitud, con la que se determinó la afectación de los cambios en los glaciares en el ciclo hidrológico.

Tabla 5.1-5 Oferta hídrica histórica y proyectada para un caudal con probabilidad de excedencia del 85% (Mm³/año)

Zona	Región	Oferta 85% (Mm ³ /año)	
		Histórica	Futura
Norte	Arica y Parinacota	175.492	165.164
	Tarapacá	182.763	170.305
	Antofagasta	127.843	164.105
	Atacama	148.327	120.173
	Coquimbo	1.110.509	962.084
	Total	1.744.933	1.581.830
Centro	Valparaíso	1.646.284	1.416.808
	Metropolitana	4.090.036	3.677.642
	O'Higgins	3.835.942	3.686.685
	Maule	17.030.195	14.622.806
	Total	28.347.389	24.985.772
Sur	Ñuble	8.041.702	7.191.438
	Biobío	17.933.545	16.440.196
	Araucanía	30.428.989	29.395.978
	Los Ríos	23.561.374	22.694.404
	Total	108.312.999	100.707.789
Austral	Los Lagos	74.663.931	69.752.371
	Aysén	178.731.349	164.334.804
	Magallanes	154.043.519	145.483.493
	Total	539.313.173	502.972.861
Total	677.718.495	630.248.252	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5.1-6 se muestra el caudal medio del periodo 1985-2015 y el aporte glaciar a este, según lo reportado en el informe final del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2022).

Tabla 5.1-6 Escorrentía total y glaciar en periodo histórico 1985-2015

Zona	Región	Q total (m ³ /s)	Q glaciar (m ³ /s)
Norte	Arica y Parinacota	15,2	0,32
	Tarapacá	3,5	0,12
	Antofagasta	8,7	0,06

Zona	Región	Q total (m ³ /s)	Q glaciar (m ³ /s)
	Atacama	12,3	1,3
	Coquimbo	72,9	0,9
Centro	Valparaíso	84,2	3,1
	Metropolitana	223,4	14,5
	O'Higgins	245,7	21,6
	Maule	778,7	3,41
Sur	Ñuble	322,1	0,42
	Biobío	1.057,6	5,22
	Araucanía	887,8	10,9
	Los Ríos	1.318,2	4,8
Austral	Los Lagos	2.069,8	85,5
	Aysén	8.504,7	1471,0
	Magallanes	8.127,8	949,0

Fuente: Elaboración propia.

i. Zona Norte

En el norte de Chile, la reducción de la oferta hídrica demanda hídrica alcanza un 9%. La región más afectada es Atacama, con una reducción del caudal de 19%, seguida por la región de Coquimbo, que presenta un descenso de 13%. Para el caso de la región de Antofagasta, a diferencia de las otras regiones del norte, se observan incrementos en la oferta del orden del 28%. La reducción generalizada de la oferta hídrica superficial en la zona norte, posiciona a la oferta hídrica subterránea como una fuente fundamental para el suministro de recursos hídricos para los distintos usos. En particular, esta fuente adquiere gran relevancia para el sector minero y el desarrollo de sus actividades productivas, lo que puede derivar en la sobreexplotación de los acuíferos.

ii. Zona Centro

La zona centro muestra los mayores descensos en la oferta hídrica a nivel nacional, de orden de 12%. La región de Valparaíso y el Maule son las más afectadas con reducciones en el caudal de oferta de 14%, para cada una. La región Metropolitana presenta un descenso de 10% en el caudal. La región de O'Higgins presenta los valores más bajos de reducción del caudal ofertado, del orden de 4%. La reducción de los caudales en conjunto con la sobreextracción de cuerpos de agua superficiales, ha provocado impactos negativos en la zona centro, como la disminución de caudales base en ríos y el deterioro de ecosistemas.

iii. Zona Sur

En el sur, la oferta hídrica presenta un descenso de 7%. Ñuble es la región más afectada, con una reducción del 11% del caudal de oferta, seguido por la región de Biobío que muestra

una reducción de 8% en su caudal. Las regiones de la Araucanía y Los Ríos presentan reducciones moderadas del caudal de oferta, con descensos de 3% y 4%, respectivamente.

iv. Zona Austral

La zona Austral de Chile presenta reducciones en su oferta hídrica de 7%, donde todas las regiones presentan descensos similares. La región más afectada es Aysén, seguido por Los Lagos y luego Magallanes, con reducciones en el caudal de oferta correspondientes a 8%, 7% y 6%, respectivamente.

5.1.2.2 Oferta hídrica de agua subterránea

La oferta subterránea corresponde al agua almacenada en acuíferos y su dinámica depende de la recarga natural a través de la infiltración, proveniente desde cuerpos de agua superficiales y precipitaciones. La recarga natural de acuíferos es el proceso mediante el cual el agua se infiltra en el suelo y alcanza los acuíferos, contribuyendo a su renovación. Desde un enfoque hidrológico, la interdependencia entre fuentes superficiales y subterráneas se basa en la dependencia de los ríos hacia los aportes subterráneos, para mantener su caudal base en períodos de estiaje, a la vez que, la recarga de acuíferos depende de los cuerpos de agua superficiales. Por otra parte, la extracción excesiva de agua subterránea puede reducir los niveles freáticos, afectando la descarga hacia ríos y humedales, comprometiendo la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos.

La evaluación de la recarga permite determinar la extracción sustentable del recurso, estableciendo volúmenes que pueden ser utilizados sin comprometer la estabilidad del acuífero ni la disponibilidad futura del recurso. La oferta de aguas subterráneas se obtuvo de distintos estudios realizados en las cuencas que componen cada región. A partir de estos, se obtuvo las recargas de acuíferos para cada una de las cuencas que contaban con dicha información. En función de lo anterior, se destaca la brecha de información existente para 43 cuencas a nivel nacional (mayor detalle en Anexo E del Informe Nacional). Para la zona norte, 24 cuencas cuentan con información sobre la recarga histórica, para la zona centro 11 cuencas presentan información, por su parte la zona sur cuenta con información para 13 y para el caso de la zona austral es más crítico, donde solo 8 cuencas cuentan con información de la recarga histórica. La falta de información representa un desafío para la gestión de los recursos hídricos, ya que impide establecer estrategias eficaces de manejo y adaptación a escenarios de menor disponibilidad de agua. Es fundamental fortalecer el monitoreo y la generación de datos hidrológicos para garantizar una gestión sustentable y equitativa del recurso hídrico en todo el país.

Para el caso de la oferta hídrica proyectada, el uso de las fuentes mencionadas anteriormente, no resulta válido, debido a los supuestos particulares que se usaron en cada

uno de los estudios para estimar la recarga subterránea en el periodo futuro. En este sentido, se consideró que la recarga subterránea varía de manera proporcional a la variación de la precipitación proyectada. Por lo tanto, para estimar la recarga acuífera futura, se aplicó la variación de precipitación del GCM considerado por región como referencia del clima futuro de la región a las recargas históricas.

Por lo tanto, ante una disminución de precipitación proyectada por el GCM seleccionado como escenario desfavorable, se prevé un descenso de la recarga de forma equivalente. De acuerdo a lo anterior, para todas las cuencas se proyecta una disminución en la recarga. Finalmente, es importante tener en consideración que la recarga es una variable que se evalúa de manera constante para un periodo, por lo que se utiliza el valor promedio de los periodos histórico y futuro.

En la Tabla 5.1-7 se presentan las recargas proyectadas para cada una de las regiones del país (mayor detalle en Anexo E del Informe Nacional).

Tabla 5.1-7 Oferta hídrica actual de agua subterránea

Zona	Región	Recarga histórica (l/s)	Variación de precipitación (%)	Recarga Proyectada (l/s)
Norte	Arica y Parinacota	3.466	-30,3	2.362
	Tarapacá	2.764	-35,0	1.464
	Antofagasta	11.658	-29,2	7.310
	Atacama	7.302	-22,6	5.635
	Coquimbo	3.210	-15,2	2.765
Centro	Valparaíso	33.587	-11,0	29.373
	Metropolitana	54.705	-12,3	47.995
	O'Higgins	33.757	-12,5	29.658
	Maule	138.629	-7,9	127.034
Sur	Ñuble	32.018	-10,1	29.005
	Biobío	37.734	-8,7	34.759
	Araucanía	68.860	-4,3	65.436
	Los Ríos	42.348	-4,6	40.456
Austral	Los Lagos	17.025	-5,0	16.228
	Aysén	3.559	-2,4	3.382
	Magallanes	18.862	-1,3	18.759

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.3 Calidad de agua

A continuación, se presenta una síntesis de la calidad de las aguas por macrozona, tanto superficial como subterránea. Los resultados detallados de dicho análisis se encuentran reflejados en los informes regionales elaborados en el marco de este estudio.

La macrozona norte de Chile, enfrenta importantes desafíos en la calidad del agua debido a factores naturales y antropogénicos. La geología de la zona influye en la presencia natural de elementos como arsénico, boro y sales en las fuentes hídricas, mientras que actividades humanas como la minería, la agricultura y la expansión urbana han incrementado la contaminación y alterado la disponibilidad del recurso. El arsénico presenta concentraciones superiores a 10 µg/L en aguas subterráneas (Pastén, 2019). En cuanto a la conductividad eléctrica, se observa una tendencia de valores altos en la Macrozona Norte, con niveles que superan los 15 mS/cm, como es el caso del Río Salado en la cuenca del Río Loa (BNA 021), que recibe aguas del campo geotermal El Tatio, una fuente importante de arsénico y boro. La cuenca Río Lluta (BNA 012) también presenta altos niveles de conductividad, arsénico y boro. Las cuencas áridas del norte se distinguen por la presencia de ambientes con alta evaporación, lo que actúa como un mecanismo concentrador de sales. Esto, combinado con la evapotranspiración originada por la actividad agrícola, da lugar a altas concentraciones de conductividad, como es el caso de los ríos Lluta, San José, Loa, Copiapó y Huasco. En áreas desérticas como la Pampa del Tamarugal, cerca de Iquique, las aguas subterráneas siguen patrones de circulación regional que traen agua desde el noreste hacia el sudoeste, pasando por zonas salinas. Sin embargo, se pueden encontrar aguas con baja salinidad debido a la presencia de fallas geológicas (Pastén, 2019). Las concentraciones de nitratos muestran altos valores en las cuencas Río Copiapó (BNA 034), Río Huasco (BNA 038) y Río Elqui (BNA 043). En particular, las cuencas Río Lluta (BNA 012) y Río Elqui (BNA 043) registran valores de pH excepcionalmente bajos, los cuales están asociados a drenaje ácido (Pastén, 2019).

En general, las aguas presentan altos niveles de sales y metales pesados, lo que limita su uso sin tratamiento previo, especialmente en zonas con actividad minera intensiva. Algunas cuencas, como la del Río Lluta (BNA 012) y el Río Copiapó (BNA 034), registran concentraciones elevadas de contaminantes que superan las normas de riego y agua potable. Además, la sobreexplotación de acuíferos y la escasez hídrica han generado un aumento en la salinidad y una disminución de la calidad en varias fuentes subterráneas. El monitoreo de la calidad del agua es insuficiente en varias regiones, con brechas significativas en la frecuencia y cobertura de mediciones, lo que dificulta una gestión efectiva. En algunas áreas rurales, la falta de saneamiento adecuado contribuye a la contaminación microbiológica, afectando la seguridad del agua para consumo humano y actividades agrícolas.

La calidad del agua en la macrozona centro de Chile presenta una alta variabilidad, determinada por factores geológicos, climáticos y, en gran medida, por actividades antrópicas. Las principales problemáticas identificadas en las cuencas de esta zona están asociadas a la presencia de metales pesados, intrusión salina, contaminación microbiológica y eutrofización en cuerpos de agua estancada, lo que representa un desafío crítico para la

gestión de los recursos hídricos. Desde una perspectiva geoquímica, las aguas de esta macrozona exhiben una diversidad de composiciones, donde las concentraciones minerales siguen presentes, pero se diluyen debido a las mejores condiciones hidrológicas de la macrozona, como ocurre en las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Maipo (BNA 057) y Río Rapel (BNA 060) (Pastén, 2019). En la macrozona predominan las aguas bicarbonatadas cálcicas en los sectores altos de las cuencas, mientras que en zonas medias y bajas se observan aguas sulfatadas, cloruradas y sódicas, influenciadas por actividades mineras, agrícolas e industriales. La cuenca del Río Maipo (BNA 057), es un claro ejemplo de esta variabilidad, con alta presencia de sulfatos y metales pesados en la parte alta debido a la explotación minera, y problemas de contaminación difusa en la zona media y baja por descargas industriales y agrícolas. En diversas cuencas, como las del Río Aconcagua (BNA 054) y Río Rapel (BNA 060), se han detectado concentraciones elevadas de arsénico, hierro, manganeso y zinc en aguas superficiales y subterráneas, superando en algunos casos los límites normativos para agua potable. Además, en zonas costeras y en los tramos bajos de los ríos, la intrusión salina ha generado un aumento de la conductividad eléctrica, lo que limita su uso para consumo humano y riego. En particular, la cuenca Río Aconcagua (BNA 054) muestra un gradiente de calidad del agua, con aguas bicarbonatadas cálcicas en la parte alta y un aumento en la conductividad eléctrica y cloruros en la desembocadura, reflejando la influencia de la actividad industrial y la urbanización. El arsénico presenta concentraciones superiores a 10 µg/L en aguas subterráneas de la macrozona centro, incluyendo los acuíferos en el norte de Santiago. Esta situación ha llevado a que algunas empresas sanitarias y sistemas de Agua Potable Rural (APR) implementen sistemas de tratamiento para remover arsénico, utilizando procesos como adsorción, coagulación con cloruro férrico seguido de filtración y ósmosis inversa (Pastén, 2019).

Las concentraciones de nitratos muestran valores altos en tres cuencas de la Macrozona Centro (Aconcagua, Maipo y Rapel (Pastén, 2019). Por su parte, la contaminación microbiológica es otro factor relevante en la macrozona centro. Se han identificado niveles elevados de coliformes totales y *Escherichia coli* en ríos y embalses, con valores que superan los estándares. Un ejemplo de esto es el embalse Rapel y ciertos afluentes del Tinguiririca, indicando fuentes de contaminación de origen animal y humano. Aunque en algunos sectores los niveles de coliformes cumplen con la normativa para uso recreativo, la presencia de estos microorganismos en fuentes de agua potable representa un riesgo sanitario. En la cuenca Río Maipo (BNA 057), las concentraciones de Demanda Química de Oxígeno a 8 días (DQO8) son especialmente altas, debido a los vertidos históricos de aguas servidas sin tratar o con tratamiento limitado, antes de la implementación del plan de saneamiento en 1990. Otro aspecto preocupante es la eutrofización en cuerpos de agua estancada, como en el embalse Rapel, donde la alta carga de nutrientes ha generado condiciones eutróficas e hipertróficas, favoreciendo la proliferación de algas y afectando la calidad del agua. Este fenómeno está asociado principalmente a la escorrentía de

fertilizantes y desechos orgánicos provenientes de actividades agrícolas y pecuarias. La falta de información en ciertas cuencas costeras y acuíferos representa una brecha en la caracterización de la calidad del agua, lo que dificulta la implementación de estrategias de gestión efectivas.

La calidad del agua en la macrozona sur de Chile, al igual que la zona centro, presenta una alta variabilidad debido a factores naturales y actividades antrópicas. Se observa una tendencia general en la cual las cuencas de zonas altas presentan una mejor calidad del recurso hídrico, mientras que en los sectores medios y bajos la influencia de la actividad humana genera un deterioro progresivo. Entre los principales elementos que exceden los límites normativos en diferentes puntos de la macrozona destacan el hierro, manganeso, arsénico y plomo, cuya presencia es atribuida tanto a fuentes naturales como a procesos industriales, agrícolas y forestales. En particular, en sectores costeros y de valle se ha identificado un aumento en la concentración de cloruros, sulfatos y sodio, lo que sugiere fenómenos de intrusión salina y procesos de salinización en suelos y acuíferos. Las aguas subterráneas muestran una composición mayormente bicarbonatada cálcica o sódica, aunque en ciertas áreas se ha registrado una mayor alcalinidad y presencia de contaminantes como nitratos y amonio, asociados al uso intensivo de fertilizantes y fuentes de contaminación urbana (Pastén, 2019). Asimismo, en diversas cuencas se han identificado episodios de pH extremo, lo que puede afectar la disponibilidad de algunos metales y alterar los procesos fisicoquímicos del agua. La presencia de nitratos y las sales disueltas, en las cuencas Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083) y Río Imperial (BNA 091), está relacionada principalmente con la contaminación urbana, agrícola difusa y actividades agroindustriales (Pastén, 2019). En cuanto a la conductividad eléctrica, se observa una tendencia de valores notablemente bajos (Pastén, 2019).

En cuanto a la contaminación biológica, se han detectado coliformes fecales en sectores de La Araucanía y Biobío, evidenciando la influencia de actividades ganaderas y urbanas sin un adecuado tratamiento de aguas residuales. Además, la presencia de microcontaminantes orgánicos y la alta demanda química de oxígeno (DQO) en algunos ríos, como Biobío e Itata, reflejan la presión que ejercen las industrias y la agroindustria sobre la calidad del recurso. Otro aspecto relevante es la falta de información en ciertas cuencas costeras y sectores rurales, lo que dificulta una caracterización completa de la calidad del agua y limita la gestión integral de los recursos hídricos en la macrozona. Si bien la calidad del agua en la macrozona sur se mantiene en parámetros aceptables en muchas áreas, existen zonas críticas donde la contaminación por metales pesados, nutrientes y coliformes requiere una vigilancia constante. La influencia de actividades humanas es notoria en las partes bajas de las cuencas, lo que resalta la importancia de fortalecer los sistemas de monitoreo, normativas y promover estrategias de gestión sostenible para la protección del recurso hídrico.

La calidad del agua en la macrozona austral muestra características dominadas por su interacción con la geología local, aunque en algunas cuencas específicas se evidencian procesos de contaminación o alteraciones en la composición química. En cuanto a las aguas subterráneas, predominan las facies bicarbonatadas cálcicas y sódicas, con algunas excepciones donde se observan tendencias hacia aguas cloruradas, especialmente en sectores costeros, como en Chiloé y Puerto Chacabuco. La intrusión salina es un fenómeno relevante en ciertas áreas, afectando la calidad del recurso para consumo y riego. Asimismo, en varias localidades se han identificado concentraciones elevadas de hierro y manganeso que superan los límites normativos, con registros en la cuenca Río Bueno (BNA 103), el SHAC Rahue, y en localidades de Aysén como Puerto Cisnes, Coyhaique y Chile Chico. En algunos sectores, como en la cuenca Vertiente del Atlántico (BNA 126), los valores de pH elevados y la presencia de cloruros sugieren una composición química influenciada por factores geológicos. Respecto a las aguas superficiales, la calidad varía según la cuenca. En general, se observan aguas con predominio de facies bicarbonatadas, aunque con presencia de elementos como sulfatos y metales en concentraciones que, en ciertos puntos, superan las normas de riego y consumo humano. Ejemplo de ello es la cuenca Río Yelcho (BNA 107), donde se han registrado niveles elevados de boro, hierro, mercurio y plomo, así como el tramo inferior del Río Aysén, donde el aluminio, manganeso, cromo y cobre presentan concentraciones superiores a los límites permitidos. Magallanes muestra altos niveles de hierro, aluminio y manganeso, por la influencia de la geología local y las actividades humanas en el río Las Minas.

El impacto antrópico es notorio en sectores con mayor actividad industrial o agrícola. En Chiloé, por ejemplo, la calidad del agua superficial ha mostrado un deterioro asociado a la actividad acuícola, mientras que en el río Emperador Guillermo en Aysén, la calidad ha sido clasificada como "Regular" debido a la degradación vegetal por incendios. Asimismo, la presencia de coliformes en zonas pobladas de Magallanes sugiere una afectación por vertidos domésticos o falta de saneamiento adecuado. A pesar de estos desafíos, en términos generales, la calidad del agua en la macrozona austral es considerada buena, con excepciones puntuales donde se observan incumplimientos normativos. Sin embargo, existe una brecha significativa en la información disponible para ciertas cuencas, especialmente en Magallanes y en sectores costeros de Los Lagos y Aysén, lo que limita una evaluación integral de los recursos hídricos. La ampliación de la red de monitoreo y la implementación de estrategias de gestión adaptativas son fundamentales para garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico en esta macrozona.

Para enfrentar los desafíos a nivel nacional, es fundamental fortalecer los sistemas de monitoreo, mejorar los sistemas de tratamiento y promover prácticas más sostenibles en los sectores productivos. También se debe mejorar la regulación y normativas que rigen,

para evitar un mayor deterioro en las fuentes de agua. La inversión en tratamiento de agua e infraestructura y tecnologías de remediación, junto con políticas de gestión integrada de cuencas y una mayor coordinación entre el sector público y privado, serán clave para garantizar la disponibilidad y calidad del agua en el país en un contexto de cambio climático y de creciente estrés hídrico.

5.1.2.4 Restricciones en la oferta hídrica

A continuación, se presentan las limitaciones con respecto al uso del agua actual en sus distintas formas de protección, tanto para fuentes de agua superficiales como subterráneas, establecidas con el objetivo de resguardar la sostenibilidad del recurso hídrico en el país. Para ello, se revisaron las restricciones de uso de DAA definidas por la Dirección General de Aguas, las cuales incluyen diversas medidas según tipo de fuente. En el caso de fuentes superficiales, las restricciones incluyen: i) Declaración de agotamiento de aguas superficiales; que impide la constitución de nuevos DAA cuando la disponibilidad del recurso hídrico se encuentra agotada; ii) Decretos de reserva; que garantizan la priorización del abastecimiento hídrico de la población, cuando no existen otros medios para obtener el agua; y iii) Decretos de escasez hídrica, que otorgan herramientas a usuarios del agua y a la población, para reducir los impactos derivados de la sequía. En cuanto a las fuentes subterráneas, se consideran: i) Áreas de restricción de aguas subterráneas; aplicadas en Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) donde existe un grave riesgo de descenso en los niveles de agua, con el consiguiente perjuicio a los derechos de terceros establecidos, o cuando se demuestre el peligro de la sustentabilidad del acuífero; y ii) Zonas de Prohibición de aguas subterráneas, establecidas cuando la disponibilidad del recursos hídrico se encuentra totalmente comprometida, por lo que no es posible constituir nuevos DAA.

En la Tabla 5.1-8 se presentan las restricciones para las cuencas afectadas por tipo de fuente y restricción, para mayor detalle consultar el acápite 2.3.1 de los Informes Regionales. En la Figura 5.1-3 se presenta la distribución de las restricciones por cuenca, según tipo de fuente.

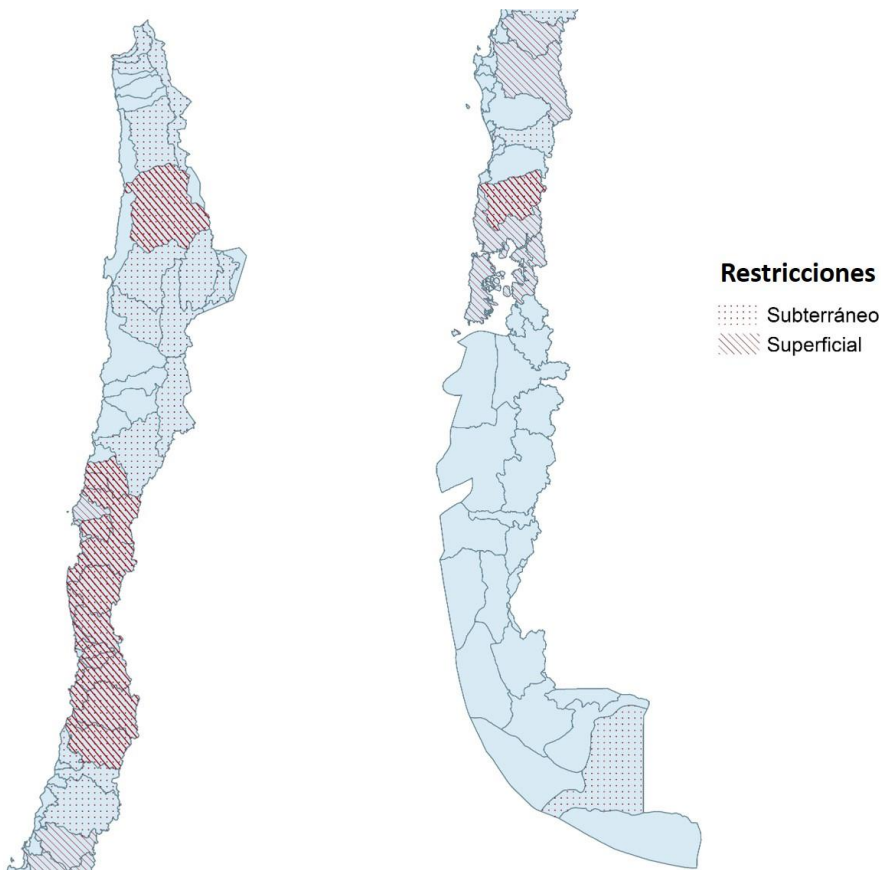
Tabla 5.1-8 Restricciones en la oferta hídrica por tipo de fuente y restricción, para las cuencas afectadas

Código BNA	Cuenca	Superficiales		Subterráneas	
		Declaración de agotamiento	Decretos de escasez hídrica	Áreas de restricción	Zonas de prohibición
010	Altiplánicas			X	X
011	Quebrada de la Concordia			X	
012	Rio Lluta			X	
013	Rio San José				X
014	Costeras R. San José – Q. Camarones				X
017	Pampa del Tamarugal			X	X

Código BNA	Cuenca	Superficiales		Subterráneas	
		Declaración de agotamiento	Decretos de escasez hídrica	Áreas de restricción	Zonas de prohibición
018	Costeras Tilviche-Loa				X
021	Río Loa	X		X	X
024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama				X
025	Salar de Atacama	X			X
026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacifico			X	X
027	Quebrada Caracoles				X
028	Quebrada La Negra			X	
030	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico			X	X
034	Río Copiapó			X	X
036	Q. Totoral y Costeras hasta Q. Carrizal		X	X	X
037	Quebrada Carrizal y Costeras hasta R. Huasco		X		X
038	Río Huasco	X	X	X	X
039	Costeras e Islas entre R. Huasco – Cuarta Región		X		
040	Costeras e Islas entre Tercera Región y Q. Los Choros		X		
041	Río Los Choros		X	X	
042	Costeras entre R. Los Choros – R. Elqui		X		
043	Río Elqui	X	X	X	X
044	Costeras entre R. Elqui – R. Limarí		X	X	X
045	Río Limarí	X	X	X	X
046	Costeras entre R. Limarí – R. Choapa		X	X	X
047	Río Choapa	X	X		X
048	Costeras entre R. Choapa – R. Quilimarí		X	X	X
049	Río Quilimarí		X	X	X
050	Costeras R. Quilimarí – R. Petorca			X	X
051	Río Petorca				X
052	Río Ligua				X
053	Costeras R. Ligua – R. Aconcagua			X	X
054	Río Aconcagua	X		X	X
055	Costeras entre R. Aconcagua – R. Maipo			X	X
057	Río Maipo	X	X	X	X
058	Costeras entre Maipo y Rapel			X	X
060	Río Rapel	X		X	X
061	Costeras Rapel – E. Nilahue			X	X
071	Río Mataquito			X	
073	Río Maule				X
081	Río Itata	X			
083	Río Biobío	X			
084	Costeras e Islas entre R. Biobío – R. Carampangue				X
094	Río Toltén			X	
103	Río Bueno		X	X	
104	Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo		X		

Código BNA	Cuenca	Superficiales		Subterráneas	
		Declaración de agotamiento	Decretos de escasez hídrica	Áreas de restricción	Zonas de prohibición
105	Río Puelo		X		
106	Costeras entre R. Puelo – R. Yelcho		X		
109	Islas Chiloé y Circundantes		X		
122	Costeras entre Seno Andrew y R. Holleberg e islas al oriente			X	
125	Costeras entre Lag. Blanca(inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes				X
128	Tierra del Fuego			X	X

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1-3 Distribución de restricciones según tipo de fuente, por cuenca

5.2 BRECHAS HÍDRICAS

En este capítulo se presentan los resultados del análisis de las brechas hídricas, abarcando tanto el balance hídrico como las brechas en las dimensiones clave de la seguridad hídrica. Para ello, se realizó un exhaustivo análisis de antecedentes y diagnóstico, lo que permitió identificar las principales deficiencias en la disponibilidad de agua y las necesidades en áreas críticas como el consumo humano y saneamiento, la producción sostenible, la conservación de ecosistemas y la resiliencia frente a eventos extremos. Este análisis ofrece una visión integral de los desafíos actuales y futuros en la gestión del recurso hídrico, y los resultados obtenidos sirven como base para definir acciones estratégicas que aborden estos desafíos de manera efectiva y promuevan una gestión hídrica sostenible y resiliente.

Las brechas asociadas al balance hídrico y las brechas estratégicas son factores fundamentales para el análisis de las brechas de infraestructura y la selección de medidas a implementar. En este sentido, las brechas de infraestructura se identificaron considerando tanto las brechas relacionadas con la disponibilidad física de agua (brechas de balance hídrico) como la necesidad de ejecutar estudios, programas u otras medidas de gestión que aseguren la correcta implementación de la infraestructura seleccionada.

5.2.1 Brechas de Balance Hídrico

Se estimó la brecha hídrica a nivel de cuenca (BNA) para cada de las presentes en las regiones del país. Para esto, se consideró como oferta hídrica la curva de frecuencia calculada a partir de los caudales medios anuales, obtenidos del Balance Hídrico Nacional (BHN) en el periodo 1985-2015. Por otro lado, la demanda hídrica se determinó a partir de las demandas consuntivas de los diferentes usos en cada cuenca, siendo estas: agua potable urbana, agua potable rural, agrícola, pecuario, minera, industrial y generación eléctrica, incorporando además la demanda proyectada. Adicionalmente, se incluye la recarga subterránea, proveniente de estudios específicos de las cuencas, por lo que no todas las cuencas disponen de esta información. Finalmente, para las proyecciones de oferta, se consideraron los caudales del BHN del GCM representativo de cada región, mientras que, para la recarga subterránea, con el objetivo de lograr una coherencia en el criterio utilizado, se consideró el porcentaje de cambio de precipitación del GCM representativo como la variación en la recarga futura. En los Anexos 0X.05 de los informes regionales se presentan los gráficos con las brechas para cada cuenca. La metodología utilizada para la clasificación se presenta en el Anexo B del Informe Nacional.

En particular, **la brecha hídrica asociada al balance hídrico considera como oferta hídrica disponible para satisfacción de la demanda aquella que posee una probabilidad de excedencia del 85%, mientras que la demanda potencial corresponde a la sumatoria de demandas de agua asociada a los diferentes tipos de consumo y actividades productivas consuntivas.** Considerando el carácter estratégico del Plan y las tendencias observadas y

proyectadas respecto al aumento sostenido de la demanda y los efectos del cambio climático en la oferta, se establece la componente de balance de la brecha hídrica para el **año 2055**.

Cabe señalar que las brechas asociadas al balance hídrico y las brechas hídricas estratégicas son factores complementarios para el análisis de brechas de infraestructura y para la selección de medidas a implementar. Es decir, las brechas de infraestructura se identificarán considerando la existencia de brechas asociadas a la disponibilidad física de agua (brechas de balance hídrico), además de la necesidad de ejecutar estudios, programas u otras medidas de gestión para que la infraestructura seleccionada pueda ser implementada correctamente (brechas hídricas estratégicas). Para definir la brecha hídrica asociada al balance, este estudio consideró dos criterios:

Criterio 1: Se evalúa si la demanda total de la cuenca supera la oferta superficial¹² en la misma considerando diferentes probabilidades de excedencia. Se considera una **cuenca crítica o con déficit hídrico estructural**, aquella donde la demanda supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 50%; una **cuenca con estrés** se determina cuando la demanda supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%; y una **cuenca con recursos** es en la cual la demanda no supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%.

Criterio 2: Se evalúa si en la actualidad existen restricciones para el uso de agua en la cuenca (declaraciones de agotamiento o decretos de escasez para la componente superficial, y, áreas de restricción o zonas de prohibición para la componente subterránea). Este criterio se aplica solo a la situación actual.

Clasificación final: En el caso de existir dos (2) tipos de restricción (superficial y subterráneo) en la cuenca, esta se define inmediatamente como **cuenca con déficit hídrico estructural**. En el caso de existir un (1) tipo de restricción (superficial o subterráneo) en la cuenca, la clasificación definida en el *Criterio 1* se promueve en un nivel de criticidad, por ejemplo:

Criterio 1 = cuenca con recursos
Criterio 2 = decreto de escasez vigente
Clasificación final = cuenca en estrés

Para la situación actual nacional, en la Figura 5.2-2 se observan 21 cuencas consideradas **cuencas con déficit hídrico estructural**, es decir, donde la demanda total supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%.

¹² En base al Balance Hídrico Nacional (DGA, 2018)

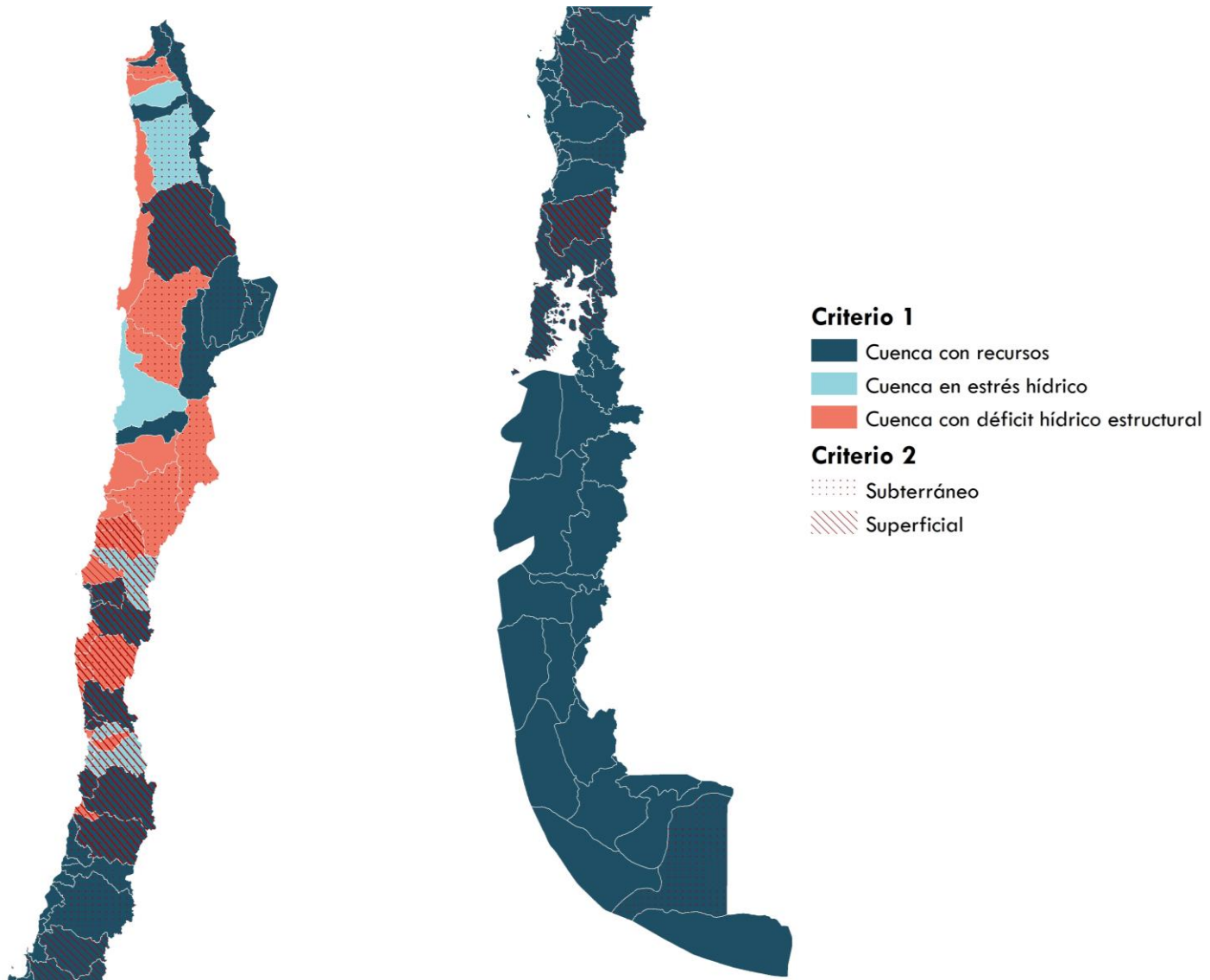
Por otra parte, en la misma figura se muestra que 71 cuencas se encuentran en una situación cuya demanda total no supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%, es decir, son cuencas **con recursos hídricos disponibles**. No obstante, se debe considerar que 10 de estas cuencas¹³ actualmente poseen restricciones tanto para el uso de aguas superficiales como para aguas subterráneas, por lo que su clasificación final es **cuencas con déficit hídrico estructural**, como se muestra en la Figura 5.2-5.

Las 21 cuencas restantes que fueron clasificadas como **cuencas con recursos**, dado que su demanda total no supera la oferta disponible con una probabilidad de excedencia del 85%, actualmente poseen restricciones para aguas superficiales o subterránea, por lo que su clasificación final es **cuencas en estrés**, como se muestra en el la Figura 5.2-5.

Asimismo, en la Figura 5.2-3 se presenta la situación hídrica para el año 2055, mientras que en la Figura 5.2-4 se presenta el criterio unificado para el año 2055.

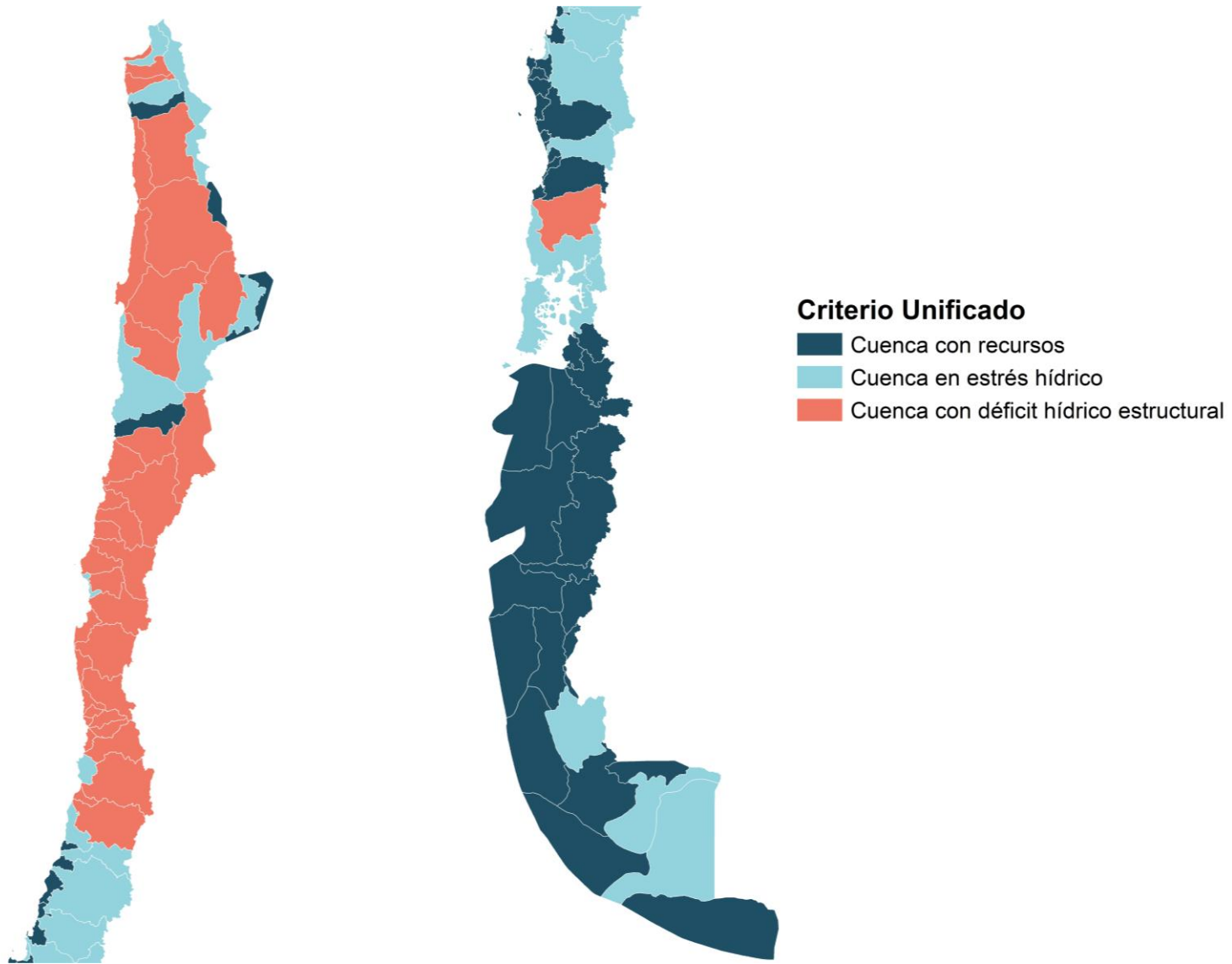
Los resultados de la clasificación final, en detalle se presentan en el Anexo E del Informe Nacional.

¹³ Río Loa (BNA 021), Salar de Atacama (BNA 025), Río los Choros (BNA 041), Río Elqui (BNA 043), Río Choapa (BNA 047), Costeras entre R. Choapa y R. Quilimarí (BNA 048), Río Quilimarí (BNA 049), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060), Río Bueno (BNA 103).



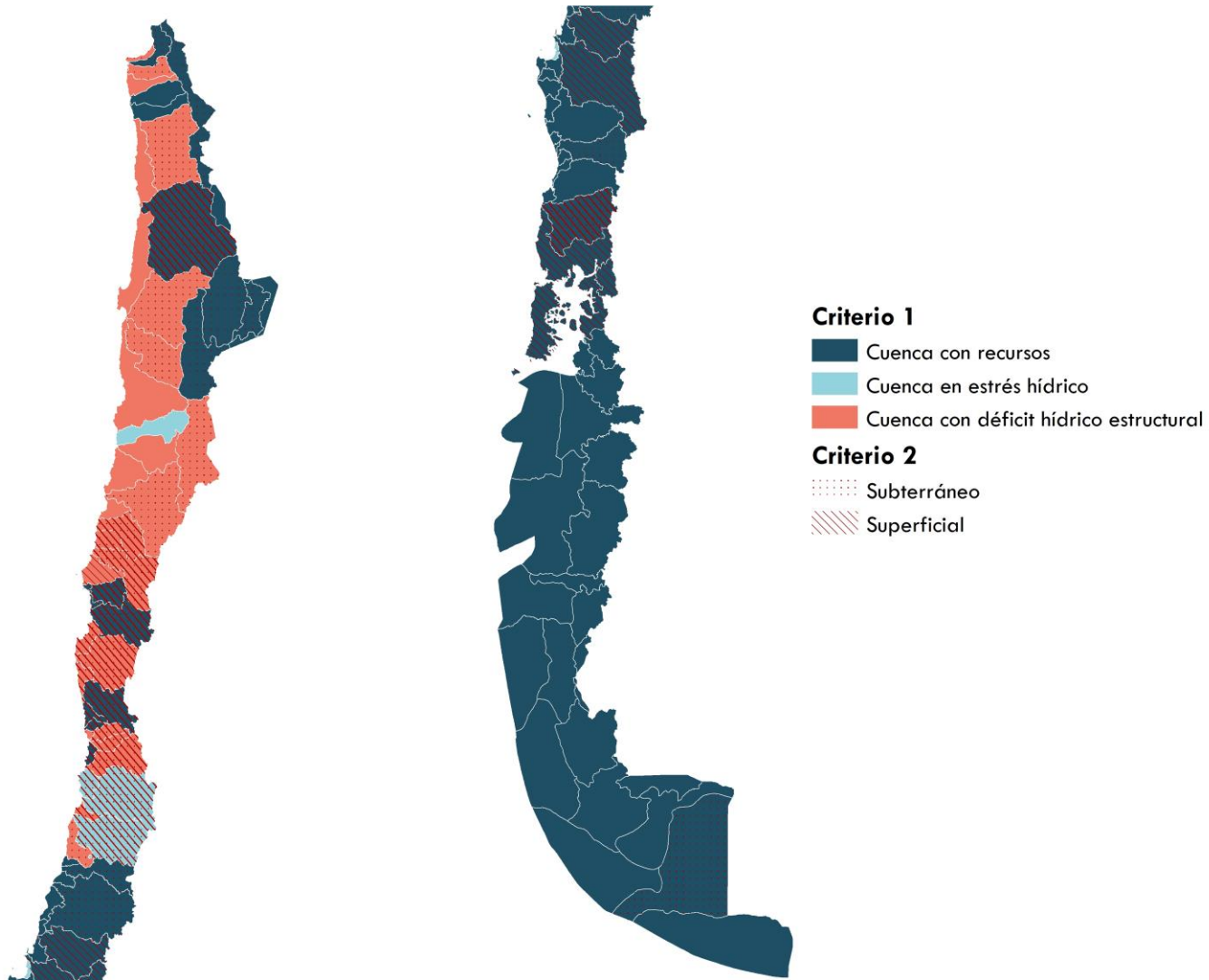
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2-1 Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 a nivel nacional – Criterio 1 y Criterio 2



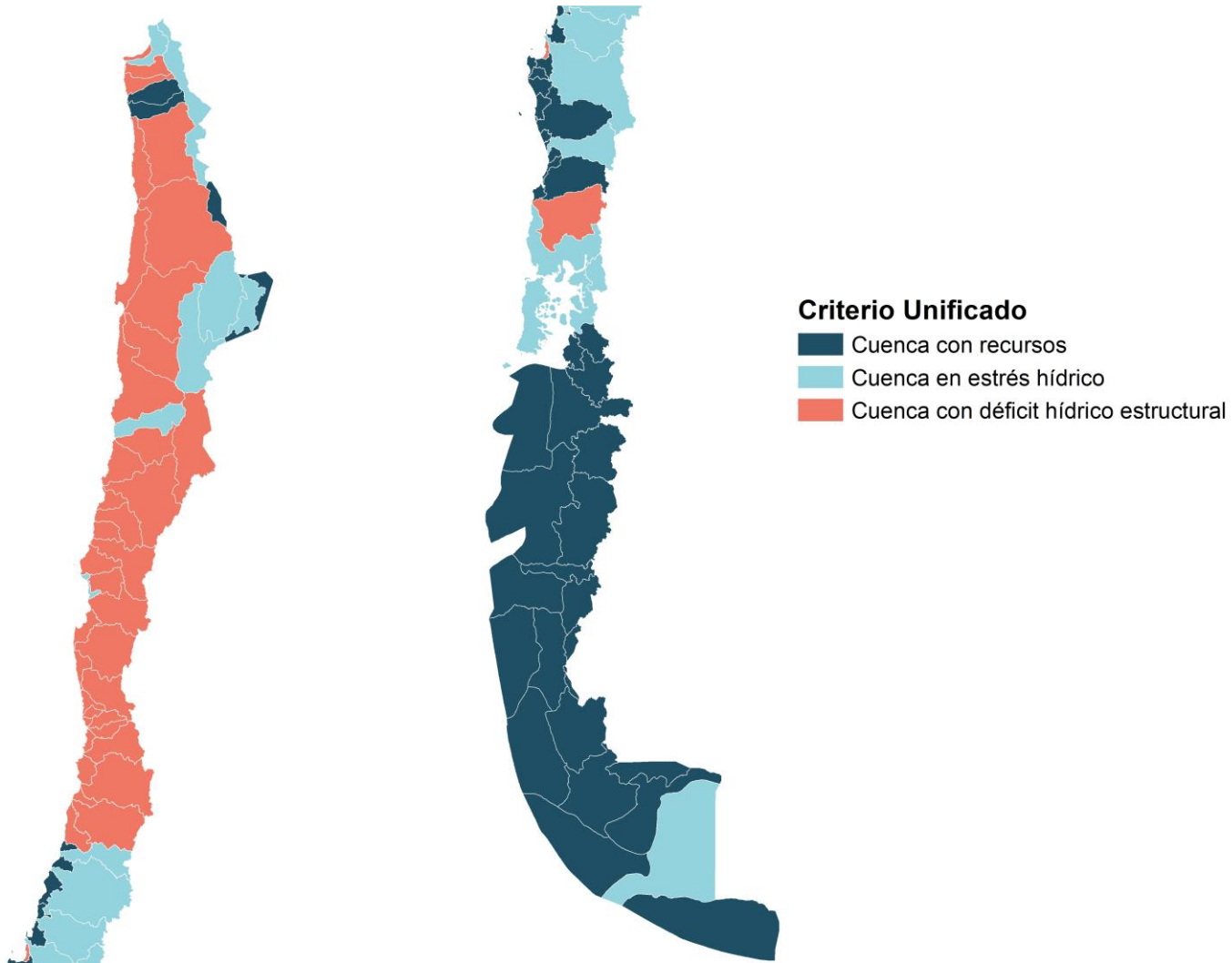
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2-2 Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2025 a nivel nacional – Criterio unificado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2-3 Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2055 a nivel nacional – Criterio 1 y Criterio 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2-4 Indicadores de disponibilidad hídrica para el año 2055 a nivel nacional – Criterio unificado

5.2.2 Brechas Estratégicas

De acuerdo a lo definido en la metodología para el presente estudio (Anexo B del Informe Nacional) se incluirán las siguientes brechas estratégicas:

- Brechas de información: brechas existentes que limiten la caracterización de la cuenca en los siguientes aspectos: ambiental, climáticos, hidrológicos, hidrogeológicos, calidad de aguas, infraestructura, nuevas fuentes existentes, coordinación y gestión hídrica.
- Brechas para la seguridad hídrica: Corresponden a los **desafíos de seguridad hídrica**, relacionados directa o indirectamente a la disponibilidad de agua, que dificulta el cumplimiento de los objetivos de seguridad hídrica. Las brechas estarán diferenciadas de acuerdo a las dimensiones de seguridad hídrica:
 - i) seguridad hídrica para el consumo humano, la salud y subsistencia,
 - ii) seguridad hídrica para el desarrollo económico,
 - iii) seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas, y
 - iv) seguridad hídrica que promueva la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación.

La evaluación de brechas estratégicas se inició con la definición de objetivos específicos regionales basados en una revisión exhaustiva de antecedentes locales y nacionales sobre la gestión hídrica y sus desafíos. Luego, a partir de dichos objetivos se identificaron brechas estratégicas específicas, las que son complementadas con información hídrica, ambiental y socio-económica, asegurando una integración de los desafíos regionales con los contextos de mayor escala. Para analizar las brechas identificadas, se desarrollaron indicadores específicos. Estos indicadores fueron seleccionados con base en los objetivos y necesidades particulares de la región, y sus rangos fueron establecidos en función de la información disponible en la justificación regional. Finalmente, se establecieron niveles de criticidad para cada indicador, utilizando una escala donde alta criticidad se asignó con un valor de 4, criticidad media con 2, y baja criticidad con 1. Esta clasificación permitió evaluar las cuencas hidrográficas según su vulnerabilidad y necesidades de intervención, conforme a cada dimensión de seguridad hídrica evaluada. En los informes regionales, acápite 4.2.1, se presentan las brechas estratégicas identificadas en cada región y clasificadas para cada cuenca según el grado de criticidad de dicha brecha. El criterio es aplicado de acuerdo a una serie de indicadores que permiten establecer rangos de análisis cuantitativo para las brechas.

5.2.2.1 Brechas de Información

Las brechas de información identificadas pueden estar vinculadas a información hídrica para la caracterización física de la región, las estimaciones de oferta-demanda o la caracterización de infraestructura. El detalle de este análisis se presenta en el acápite 4.2.1 de los informes regionales y en los Anexos regionales 06 “Identificación y eval. de iniciativas”. En función de lo anterior, se reconocen las siguientes brechas de información a nivel nacional.

i. Para caracterización de infraestructura:

- En todas las regiones se identifica un alto grado de desconocimiento sobre las fuentes de abastecimiento de agua potable en zonas rurales. En la macrozona norte los porcentajes de falta de información que oscilan entre el 7,8% y el 76,1% en viviendas rurales. Para el caso de la macrozona centro, la falta de datos afecta entre un 11% y 53% de las viviendas rurales. Para la macrozona sur la brecha afecta entre un 9% y un 34%. Para la macrozona austral afecta entre un 17% y 58%.
- Se desconoce el acceso real a la red de alcantarillado en gran parte de las regiones, con brechas de información que alcanzan hasta el 70,2% de la población rural de la zona macrozona norte, un 96% de la población rural de la macrozona centro, en la macrozona sur alcanza un 69% la brecha de información para la población rural y en la macrozona austral alcanza un 87%.
- Existen importantes vacíos de información sobre la cobertura de agua potable y saneamiento en zonas rurales para diversas comunas de todas las macrozonas, ya que los indicadores existentes no incluyen información de todas las comunas, lo que impide una caracterización certera de la situación actual.
- Los catastros de Servicios Sanitarios Rurales (SSR) no están estandarizados ni actualizados. Si bien los registros de la DOH presentan mayores números de SSR, no incluyen datos de saneamiento; en contraste, los de la SISS tienen información de saneamiento, pero solo de SSR con tarificación.
- No existen estudios ni planes de reúso de aguas servidas en las macrozonas norte y austral.
- Hay un déficit de información sobre la disponibilidad de agua en acuíferos en todas las macrozonas, lo que impide un manejo sostenible del recurso hídrico subterráneo.
- Se observa un déficit en la red hidrométrica operativa y baja consolidación en todas las macrozonas.
- Carencia de conocimientos y métodos de implementación de soluciones basadas en ecosistemas para adaptarse al cambio climático.
- Se identifica una serie de brechas de información entorno al funcionamiento y gestión de las obras de acumulación de aguas para todas las macrozonas, lo que repercute en la eficiencia y distribución del recurso hídrico.

- No se dispone de información actualizada y centralizada sobre el estado de los canales de riego, lo que podría llevar a una subestimación de la demanda hídrica e ineficiencias en la distribución del agua.
- No se dispone de información detallada respecto al volumen acumulado de los embalses nacionales. Esta falta de datos dificulta la evaluación precisa de la capacidad de almacenamiento hídrico disponible, así como la planificación efectiva para el manejo del recurso hídrico y la prevención de posibles crisis hídricas.

ii. Para caracterización de oferta – demanda

- No se presentan catastros completos y actualizados de eventos extremos, como sequías e inundaciones, a nivel nacional.
- Se reconoce la carencia de datos sobre los consumos reales de agua por parte de los principales sectores productivos del país. Esta falta de información no solo dificulta la estimación de la demanda actual de agua, sino también dificulta la capacidad de proyectar de manera adecuada las necesidades futuras.
- Desconocimiento de los titulares de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) en todas las macrozonas.

iii. Para caracterización física del recurso

- Existen importantes brechas en la evaluación de la calidad de las aguas en diversas cuencas del país, lo que impide caracterizar la calidad del agua de manera adecuada.
- Déficit de estudios hidrogeológicos actualizados y de modelación de cuencas en todas las macrozonas, dificultando la gestión y distribución del recurso hídrico en un contexto de cambio climático y déficit hídrico.
- Falta de información sobre las estimaciones de recarga de acuíferos.
- Se evidencia un bajo nivel de integración de datos entre el sector público y privado, así como la carencia de un protocolo de validación de información de diversas fuentes.

5.2.2.2 Brechas de seguridad hídrica para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia

En esta dimensión, el análisis se centró en garantizar el acceso equitativo y suficiente al agua potable y a servicios de saneamiento para las personas, con un enfoque en las necesidades básicas de consumo humano. Las brechas identificadas se relacionaron con la cobertura insuficiente de estos servicios, la falta de infraestructura y las dificultades para asegurar un suministro adecuado.

La evaluación de brechas estratégicas se inició con la definición de objetivos específicos regionales basados en una revisión exhaustiva de antecedentes locales y nacionales sobre la gestión hídrica y sus desafíos. Luego, a partir de dichos objetivos se identificaron brechas

estratégicas específicas, las que son complementadas con información hídrica, ambiental y socio-económica, asegurando una integración de los desafíos regionales con los contextos de mayor escala.

Para analizar las brechas identificadas, se desarrollaron indicadores específicos. Estos indicadores fueron seleccionados con base en los objetivos y necesidades particulares de la región, y sus rangos fueron establecidos en función de la información disponible en la justificación regional. Finalmente, se establecieron niveles de criticidad para cada indicador, utilizando una escala donde *alta criticidad* se asignó con un valor de 4, *criticidad media* con 2, y baja criticidad con 1. Esta clasificación permitió evaluar las cuencas hidrográficas según su vulnerabilidad y necesidades de intervención, conforme a cada dimensión de seguridad hídrica evaluada.

En los informes regionales, acápite 4.2.2, se presentan las brechas estratégicas identificadas en cada región y clasificadas para cada cuenca según el grado de criticidad de dicha brecha. El criterio es aplicado de acuerdo a una serie de indicadores que permiten establecer rangos de análisis cuantitativo para las brechas. A continuación, se presentan las principales brechas de seguridad hídrica para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia identificadas en cada macrozona.

Para la zona norte se identificaron desafíos de seguridad hídrica en la sostenibilidad del suministro de agua potable. Se registra una alta cobertura de servicios de agua potable urbana, sin embargo, las pérdidas en la distribución del recurso varían entre un 30% y 36%, siendo la región de Coquimbo la que presenta los niveles más altos de pérdidas. En las áreas rurales, entre el 14% y 43% de las viviendas no tienen acceso a agua potable, mientras que se observan periodos de sobreexplotación de los recursos hídricos rurales para la zona norte. Además, la falta de información afecta hasta el 39% de las viviendas rurales, situación que limita el desarrollo de estrategias integrales. Por otra parte, la población rural con acceso a agua potable que carece de sistemas de alcantarillado oscila entre 6% y 55%.

Por su parte, para la zona centro la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En las zonas urbanas, si bien la cobertura varía entre un 94% y 96%, las pérdidas de los sistemas de distribución oscilan entre un 30% y 44%, siendo la región de O'Higgins la que presenta los niveles más altos de pérdidas. Las proyecciones de aumento de población en la macrozona configuran una situación de vulnerabilidad ante la garantía de la cobertura de agua potable. En las áreas rurales, entre el 10% y 37% de las viviendas no tienen acceso a agua potable, mientras que se observan periodos de sobreexplotación de los recursos hídricos de hasta 34%. Por otra parte, la población rural con acceso a agua potable que carece de sistemas de alcantarillado oscila entre 38% y 53%, afectando en gran parte a la región de O'Higgins y Maule.

Para la zona sur, también se presentan presiones considerables para el suministro de agua potable. En la región de la Araucanía y Los Ríos, los servicios de agua potable rural presentan desafíos significativos, ya que entre un 10% y 44% de las viviendas no tienen acceso a agua potable y un 56% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado. Para el caso de Ñuble, Biobío y la cuenca Río Valdivia (BNA 101), los sistemas de distribución registran pérdidas que alcanzan hasta un 40%.

Finalmente, para la zona austral entre un 17% y un 50% de las viviendas de zonas rurales no tienen acceso a agua potable y hasta un 39% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado, lo que configura una situación de vulnerabilidad ante la garantía de la cobertura de agua potable. En las zonas urbanas, la situación es menos crítica, con pérdidas en los sistemas de distribución que alcanzan un 34%, sin embargo, las deficiencias en los sistemas y las brechas de información referentes a la provisión del servicio, incrementan los riesgos y los desafíos en esta dimensión.

5.2.2.3 Brechas de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica

Esta dimensión abordó la relación entre el uso del recurso hídrico y las actividades productivas clave en la región. El enfoque principal fue identificar las brechas en la eficiencia hídrica en estos sectores. Las brechas se centraron en la necesidad de mejorar el uso eficiente del agua en los procesos productivos y en asegurar la sostenibilidad a largo plazo de las actividades económicas.

A continuación, se presentan las principales brechas de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica identificadas en cada macrozona.

La macrozona norte se encuentra en una situación compleja, con eficiencias de riego que promedian un 58%, lo que evidencia la necesidad implementar mejoras en este ámbito. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas Río Lluta (BNA 012), Río San José (BNA 013), Salar de Atacama (BNA 025), Río Copiapó (BNA 034), Río Huasco (BNA 038), Río Elqui (BNA 043), Río Limarí (BNA 045) y Río Choapa (BNA 047), ya que concentran más del 86% de la red de canales de la macrozona y presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, lo que afecta la sostenibilidad agrícola de la macrozona. En particular, para la región de Coquimbo, los bajos niveles de almacenamiento de embalses evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que sólo se observan proyectos de uso de fuentes no convencionales en menos del 50% de las cuencas que componen la

macrozona. Por otra parte, se observan limitaciones en torno a las OUs¹⁴, ya que sólo se registra algún tipo de organización para 12 de las 34 cuencas que componen la macrozona.

En cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua, la macrozona centro se encuentra en una situación favorable, con eficiencias de riego varían entre el 53% y 86%, sin embargo, existen oportunidades que deben ser abordadas para disminuir estas brechas. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060) y Río Maule (BNA 073), ya que concentran más del 88% de la red de canales de la macrozona, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que afecta la productividad y sostenibilidad agrícola de la macrozona. En particular, para Valparaíso y O'Higgins, se proyectan aumentos en la demanda manufacturera y minera, lo que pone a las regiones en una situación de riesgo. Los bajos niveles de almacenamiento de embalses de la macrozona evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que solo se observan proyectos para uso de fuentes no convencionales en las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Rapel (BNA 060), Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061), Costeras entre Límite Región – R. Mataquito (BNA 070) y Río Mataquito (BNA 071). Por otra parte, se observan limitaciones en torno a las OUs para las regiones Metropolitana y Maule, ya que sólo se registra algún tipo de organización en las cuencas Río Maipo (BNA 057), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073).

La macrozona sur enfrenta una complejidad variable entre en sus regiones. Las regiones de Ñuble y Biobío se encuentran en una situación de aguda complejidad, con eficiencias de riego que varían entre un 44% y 69%, lo que representa un desafío para esta dimensión. Por su parte, las regiones de la Araucanía y Los Ríos presentan eficiencias de riego mayores, que alcanzan un 75%, sin embargo, existen oportunidades que deben ser abordadas para reducir estas brechas. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas del Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083), Río Imperial (BNA 091) y Río Valdivia (BNA 101), ya que concentran más del 95% de la red de canales de la macrozona, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que dificulta la productividad agrícola e industrial de la zona. Particularmente, para Río Toltén (BNA 094) se proyectan aumentos en la demanda manufacturera, lo que sitúa a la cuenca en una situación de riesgo. La macrozona sur enfrenta limitaciones significativas en la diversificación de la matriz hídrica. La escasa información acerca del volumen embalsado y la disminución en la oferta hídrica superficial proyectada, evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que sólo se observan proyectos para uso de fuentes no

¹⁴ OUs: Organizaciones de Usuarios de Agua, JV: Juntas de Vigilancia, CA: Comunidades de Aguas, AC: Asociaciones de Canalistas.

convencionales para la mitad de las cuencas de la zona y en su mayoría corresponden a proyectos de menor escala. Se observan limitaciones en torno a las OUAs, ya que sólo se registra un tipo de organización de usuarios de agua en las cuencas Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083), Río Imperial (BNA 091) y Río Toltén BNA 094). Para la región de Los Ríos no se observa ningún tipo de organización

Finalmente, la macrozona austral enfrenta una situación compleja en cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua. Las eficiencias de riego varían entre 35% y 72%, por lo que se requieren mejoras en este ámbito. Se observan grandes presiones en las cuencas Río Bueno (BNA 103), Río Baker (BNA 115), Costeras entre Seno Andrew, Río Hollemberg e islas al oriente (BNA 122) y Vertiente del Atlántico (BNA 126), ya que agrupan el 97% de la red de canales de la macrozona. Estas cuencas presentan deficiencias en sus sistemas de distribución y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que representa un desafío para la productividad de la macrozona. Se observan limitaciones en torno a las OUAs, sólo se observa un tipo de organización para Aysén y Magallanes, en el caso de Los Lagos no se registra ninguna organización. Se identifican restricciones significativas en la diversificación de la matriz hídrica. Se registran disminuciones en la oferta hídrica superficial superiores al 10%, lo que afecta el llenado de embalases, poniendo en evidencia la necesidad de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito continúa siendo insuficiente, ya que sólo se observan proyectos en 7 de las 26 cuencas que componen la macrozona, y en su mayoría corresponden a proyectos de menor escala, lo que restringe la capacidad de adaptación de la macrozona.

5.2.2.4 Brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas

En esta dimensión, la atención se enfocó en el equilibrio entre el uso del agua y la protección de los ecosistemas naturales, especialmente en áreas de alta biodiversidad y valor ambiental. Las brechas se identificaron en relación con la conservación de los caudales ecológicos, la preservación de humedales. El objetivo fue garantizar que el uso del agua no comprometa la integridad de los ecosistemas acuáticos y terrestres en la región.

A continuación, se presentan las principales brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas identificadas en cada macrozona.

La macrozona norte enfrenta un problema crítico de calidad del agua. Todas las cuencas con excepción de Quebrada Caracoles (BNA 027), presentan un deterioro significativo en su calidad de agua, debido a altos niveles de contaminación por agroquímicos y aguas residuales. Además, se observan riesgos de contaminación por relaves en desuso y falta de información sobre monitoreo y calidad del agua. Adicionalmente, se observa un bajo nivel de protección ecosistémica para la macrozona norte, donde más del 70% de las cuencas no

alcanzan el 5% de protección de superficie de humedales, evidenciando la necesidad de implementar medidas de conservación más efectivas.

La calidad del agua en la macrozona centro es un problema crítico para las regiones Metropolitana, O'Higgins y Maule. Las cuencas Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Costeras R. Maule – Límite Región (BNA 074), presentan altos niveles de contaminación por agroquímicos (concentraciones de nitratos mayor al límite permitido), debido a la intensa actividad agrícola y ganadera de la zona. Además, se observa un gran deterioro de la calidad de agua en todas las cuencas de la macrozona centro, atribuido a descargas de aguas servidas (cobertura de alcantarillado menor al 70%) y a la carencia de tratamiento de aguas residuales. Por otra parte, se observan riesgos de contaminación por relaves abandonados y grandes presiones a los recursos hídricos en la región Metropolitana, O'Higgins y Maule. Adicionalmente se observa un cambio significativo en el uso de suelo en las cuencas Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073), lo que pone en riesgo a ecosistemas cercanos, como humedales, que han sufrido alteraciones debido a la expansión agrícola y ganadera. Por su parte, la capacidad natural de regulación de los ecosistemas de la región de Valparaíso se encuentra en una situación crítica. Además, se observa un bajo nivel de protección ecosistémica para la macrozona centro, especialmente en las cuencas Costeras R. Quilimarí – R. Petorca (BNA 050), Río Petorca (BNA 051), Río Ligua (BNA 052), Costeras R. Ligua – R. Aconcagua (BNA 053), Río Aconcagua (BNA 054), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060), Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073), que no alcanzan el 5% de protección de superficie de humedales, evidenciando la necesidad de implementar medidas de conservación más efectivas.

Para la macrozona sur la calidad del agua representa un problema crítico para todas las cuencas, debido a la intensa actividad agrícola, las descargas de aguas servidas y los riesgos de contaminación por relaves y actividades industriales. Además, se observa un bajo nivel de monitoreo en todas las cuencas, con excepción de Río Itata (BNA 081) y Río Biobío (BNA 083). A su vez, la mayoría de las cuencas de la macrozona no superan el 5% de protección de sus superficies de humedales, evidenciando la urgencia de fortalecer las estrategias de conservación y gestión de estos ecosistemas.

Finalmente, la calidad del agua en la zona austral representa un problema grave en todas sus cuencas. El uso de agroquímicos en la actividad agrícola y ganadera pone en riesgo a ecosistemas frágiles y cuerpos de agua cercanos. Se observa un deterioro en la calidad del agua en todas las cuencas de la macrozona, atribuido principalmente a descargas de aguas servidas, debido a la carencia de servicios de saneamiento (cobertura inferior al 70%) y a la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales. A esto se suman riesgos de contaminación asociados a la acuicultura y la creciente actividad industrial y minera,

situación que incrementa la exposición a contaminantes y la presión sobre los recursos hídricos. Por otra parte, se ha registrado un cambio significativo en el uso de suelo, lo que pone en riesgo a ecosistemas frágiles, especialmente humedales y cuerpos de agua, debido a la presión ejercida por las industrias ganadera, pesquera y agrícola. Esta situación se ve agravada por el bajo nivel de monitoreo en todas las cuencas de la zona austral, con excepción de Costeras entre R. Puelo – R. Yelcho (BNA 106) y Cuencas e Islas entre R. Bueno – R. Puelo (BNA 104). Debido a las presiones de las actividades productivas, los efectos del cambio climático y la falta de identificación de zonas de protección de fuentes de agua y caudales ecológicos, la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios ecosistémicos se ha visto reducida en todas las cuencas de la macrozona. La mitad de las cuencas presenta un nivel de protección de humedales inferior al 5%, lo que destaca la necesidad urgente de implementar medidas de conservación más efectivas.

5.2.2.5 Brechas para la seguridad hídrica que promueva la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación

En esta dimensión, el foco estuvo en la capacidad de las cuencas hidrográficas para enfrentar amenazas relacionadas con el cambio climático y eventos extremos, como sequías prolongadas, inundaciones o episodios de contaminación. Las brechas identificadas se relacionaron con la vulnerabilidad de las cuencas ante estos fenómenos y la necesidad de fortalecer las infraestructuras de almacenamiento y protección. El objetivo fue asegurar la resiliencia de las cuencas frente a eventos futuros y reducir el riesgo de desastres hídricos.

A continuación, se presentan las principales brechas de seguridad hídrica para promoción de la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas, y la prevención de la contaminación identificadas en cada macrozona.

La macrozona norte presenta un alto riesgo en esta dimensión. Mas de un 61% de las cuencas de la macrozona muestran una alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes y a incrementos de superficies impermeables. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas y remociones en masa.

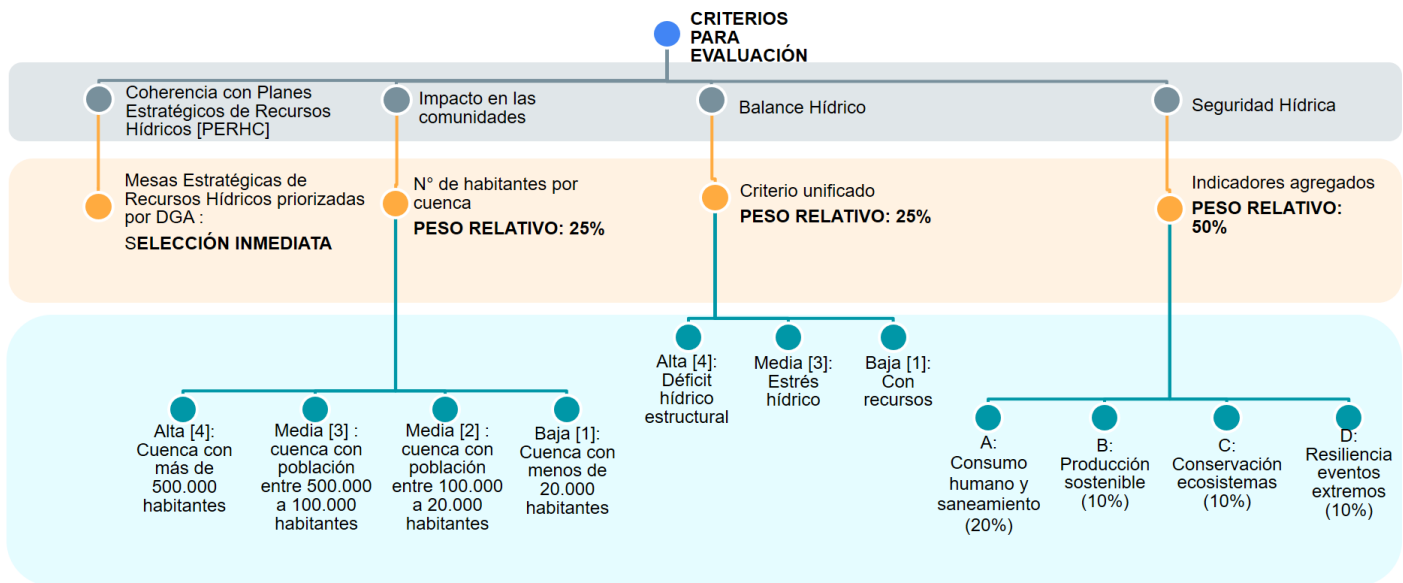
Para el caso de la macrozona centro, más de un 73% de las cuencas presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes y a incrementos de superficies impermeables. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas y remociones en masa.

En la macrozona sur, más del 63% de las cuencas presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas y remociones en masa.

Finalmente, las cuencas de la macrozona austral presentan alta inseguridad en esta dimensión. Más de la mitad de las cuencas presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones, con sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes. La baja efectividad de los sistemas de drenaje de aguas lluvias agrava esta situación, lo que en definitiva incrementa los impactos ante eventos de crecidas.

5.2.3 Evaluación de niveles de criticidad de las cuencas de Chile

El objetivo de evaluar la criticidad de las cuencas es planificar la ejecución del Plan Nacional de Infraestructura Hídrica 2025 -2055 en el horizonte previsto. Es importante mencionar que la priorización se basa en un análisis multicriterio (detalle metodológico en acápite 3.7.2.4 del Anexo B). Para efectos del presente ejercicio se ha seguido el esquema de la Figura 5.2-5.



Nota 1: Las Mesas Estratégicas fueron priorizadas por en la RESOLUCIÓN DGA (EXENTA) N° 1.190 mayo 2024 que establece el orden de elaboración de cada Plan Estratégico de Recursos Hídricos en Cuencas

Nota 2: La evaluación de criticidad para cada dimensión de seguridad hídrica se presentan en los Anexos .05 Brechas Estratégicas de cada región

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2-5 Esquema para la evaluación de criticidad de las cuencas

Las puntuaciones asignadas y el resultado de la evaluación se presentan en la Tabla 5.2-1, organizadas de mayor prioridad a menor.

Tabla 5.2-1 Evaluación de niveles de criticidad de las cuencas de Chile

Ponderaciones				25%	20%	10%	10%	10%	25%	Evaluación de ponderadores	
Regiones	Cuenc a BNA	Nombre Cuenca	MERHC	Población	Brechas Estratégicas				Balance hídrico	Según % de relevancia	Cuencas Seleccionadas
				Población	D1	D2	D3	D4	CBH		
XV Arica	010	Altiplánicas		1	4	3	2	1	3	2,4	
XV Arica	011	Quebrada de la Concordia		1	3	2	3	4	4	2,8	Crítica
XV Arica	012	Río Lluta		1	3	2	2	3	3	2,3	
XV Arica	013	Río San José		3	3	2	2	3	4	3,1	Crítica
XV Arica	014	Costeras entre Río San José y Quebrada Camarones	4	1	4	2	3	3	4	2,9	Crítica
XV Arica	015	Quebrada Río Camarones		1	4	2	3	1	3	2,4	
I Tarapacá	016	Costeras R.Camarones-Pampa del Tamarugal	4	1	3	2	3	2	1	1,8	Crítica
I Tarapacá	017	Pampa del Tamarugal		2	3	4	2	3	4	3,0	Crítica
I Tarapacá	018	Costeras Tilviche-Loa		3	3	2	3	3	4	3,2	Crítica
II Antofagasta	020	Fronterizas Salar Michincha-R.Loa		1	4	3	4	1	1	2,1	
I Tarapacá	021	Río Loa		3	4	2	3	1	4	3,2	Crítica
I Tarapacá	022	Costeras entre Río Loa y Quebrada Caracoles		3	3	2	3	2	4	3,1	Crítica
II Antofagasta	023	Fronterizas entre Salar de Atacama y Socompa		1	3	3	3	1	1	1,8	
II Antofagasta	024	Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama		1	3	3	3	1	3	2,3	
II Antofagasta	025	Salar de Atacama	4	1	4	4	2	3	4	3,0	Crítica
II Antofagasta	026	Endorreicas entre Salar de Atacama y Vertiente del Pacífico		1	3	2	3	2	3	2,3	
II Antofagasta	027	Quebrada Caracoles		2	2	2	3	2	4	2,6	
II Antofagasta	028	Quebrada la Negra		2	3	3	3	2	4	2,9	Crítica
II Antofagasta	029	Costeras entre Quebrada la Negra y Quebrada Pan de Azúcar		2	3	2	2	2	3	2,5	
III Atacama	030	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico		1	3	3	3	2	4	2,7	
II Antofagasta	031	Costeras entre Quebrada Pan de Azúcar y Río Salado		1	3	3	4	1	1	1,9	
III Atacama	032	Río Salado		2	3	2	3	2	4	2,8	Crítica

				Ponderaciones								
				25%	20%	10%	10%	10%	25%			
				Población	Brechas Estratégicas				Balace hídrico	Evaluación de ponderadores		
Regiones	Cuenc a BNA	Nombre Cuenca	MERHC	Población	D1	D2	D3	D4	CBH	Según % de relevancia	Cuencas Seleccionadas	
III Atacama	033	Costeras e Islas Río Salado - Río Copiapó		2	3	3	3	2	4	2,9	Crítica	
III Atacama	034	Río Copiapó		3	2	2	3	3	4	3,0	Crítica	
III Atacama	035	Costeras entre Río Copiapó y Quebrada Totoral		1	3	2	2	1	4	2,4		
III Atacama	036	Quebrada Totoral y Costeras hasta Quebrada Carrizal		1	3	2	2	2	4	2,5		
III Atacama	037	Quebrada Carrizal y Costeras hasta Río Huasco		1	3	3	2	1	4	2,5		
III Atacama	038	Río Huasco	4	2	3	2	3	3	4	2,9	Crítica	
III Atacama	039	Costeras e islas entre Río Huasco y Cuarta Región		1	3	3	3	1	4	2,6		
IV Coquimbo	040	Costeras e Islas entre Tercera Región y Quebrada de Los Choros		1	4	2	3	1	3	2,4		
IV Coquimbo	041	Río los Choros		1	4	3	3	1	4	2,8	Crítica	
IV Coquimbo	042	Costeras entre Río Los Choros y Río Elqui		1	4	2	3	2	3	2,5		
IV Coquimbo	043	Río Elqui	4	3	3	2	4	4	4	3,4	Crítica	
IV Coquimbo	044	Costeras entre Elqui y Limarí		3	3	2	3	3	4	3,2	Crítica	
IV Coquimbo	045	Río Limarí	4	3	3	3	3	2	4	3,2	Crítica	
IV Coquimbo	046	Costeras entre Río Limarí y Río Choapa		1	4	3	3	1	4	2,8	Crítica	
IV Coquimbo	047	Río Choapa	4	2	3	3	3	1	4	2,8	Crítica	
IV Coquimbo	048	Costeras entre Río Choapa y Río Quilimarí		2	3	2	2	1	4	2,6		
IV Coquimbo	049	Río Quilimarí		1	3	2	3	1	4	2,5		
V Valparaíso	050	Costeras Quilimarí-Petorca		1	4	2	2	3	4	2,8	Crítica	
V Valparaíso	051	Río Petorca		2	3	2	3	2	4	2,8	Crítica	
V Valparaíso	052	Río Ligua	4	2	3	2	3	2	4	2,8	Crítica	
V Valparaíso	053	Costeras Ligua-Aconcagua		2	3	2	3	3	4	2,9	Crítica	
V Valparaíso	054	Río Aconcagua	4	4	3	2	3	3	4	3,4	Crítica	
V Valparaíso	055	Costeras Entre Aconcagua y Maipo		4	3	2	2	3	3	3,1	Crítica	

Ponderaciones				25%	20%	10%	10%	10%	25%		
Regiones	Cuenc a BNA	Nombre Cuenca	MERHC	Población	Brechas Estratégicas				Balace hídrico	Evaluación de ponderadores	
				Población	D1	D2	D3	D4	CBH	Según % de relevancia	Cuencas Seleccionadas
V Valparaíso	056	Islas Del Pacífico		s/i	3	2	2	1	1	1,4	
R Metropolitana	057	Río Maipo	4	4	3	3	2	4	4	3,5	Crítica
V Valparaíso	058	Costeras Entre Maipo y Rapel		2	4	2	2	1	4	2,8	Crítica
VI O'Higgins	060	Río Rapel	4	4	3	2	4	3	4	3,5	Crítica
VI O'Higgins	061	Costeras Rapel - E. Nilahue		2	3	2	2	3	3	2,6	
VII Maule	070	Costeras entre Límite Región y R. Mataquito		1	2	2	2	2	1	1,5	
VII Maule	071	Río Mataquito	4	3	3	2	3	2	3	2,8	Crítica
VII Maule	072	Costeras Mataquito-Maule		1	3	3	2	2	1	1,8	
VII Maule	073	Río Maule	4	4	3	3	2	3	3	3,2	Crítica
VII Maule	074	Costeras Maule y Límite Región		2	3	3	2	3	1	2,2	
XVI Ñuble	080	Costeras entre limite Región y Río Itata		1	2	2	3	4	1	1,8	
XVI Ñuble	081	Río Itata	4	4	3	3	2	4	3	3,3	Crítica
XVI Ñuble	082	Costeras e Islas entre Río Itata y Río Biobío		4	2	3	3	4	1	2,7	
VIII Bío Bío	083	Río Biobío	4	4	2	3	2	4	3	3,1	Crítica
VIII Bío Bío	084	Costeras e Islas entre Ríos Biobío y Carampangue		3	2	2	3	4	3	2,8	Crítica
VIII Bío Bío	085	Río Carampangue		2	2	2	3	3	1	2,0	
VIII Bío Bío	086	Costeras Carampangue-Lebu		1	3	2	3	3	1	1,9	
VIII Bío Bío	087	Río Lebu		2	3	2	3	3	1	2,2	
VIII Bío Bío	088	Costeras Lebu-Paicavi		1	2	2	3	3	1	1,7	
VIII Bío Bío	089	Costeras e Islas entre R. Paicaví y Limite Región		1	3	2	3	3	1	1,9	
IX Araucanía	090	Costeras Limite Region y R. Imperial		1	3	1	3	2	1	1,7	
IX Araucanía	091	Rio Imperial		4	2	3	2	4	1	2,6	
IX Araucanía	092	Rio Budi		1	3	2	3	4	1	2,0	
IX Araucanía	093	Costeras Entre Rio Budi y Rio Toltén		1	4	1	3	4	1	2,1	

				Ponderaciones								
				25%	20%	10%	10%	10%	25%			
				Población	Brechas Estratégicas				Balace hídrico	Evaluación de ponderadores		
Regiones	Cuenc a BNA	Nombre Cuenca	MERHC	Población	D1	D2	D3	D4	CBH	Según % de relevancia	Cuencas Seleccionadas	
IX Araucanía	094	Río Toltén	4	3	2	2	2	4	3	2,7	Crítica	
IX Araucanía	095	Río Queule		1	3	1	3	3	1	1,8		
IX Araucanía	100	Costeras entre límite región y Río Valdivia		1	4	2	3	1	1	1,9		
XIV Los Ríos	101	Río Valdivia	4	3	3	3	2	3	1	2,4	Crítica	
XIV Los Ríos	102	Costeras entre Río Valdivia y Río Bueno		1	3	2	2	3	1	1,8		
XIV Los Ríos	103	Río Bueno		3	3	3	2	3	4	3,2	Crítica	
X Los Lagos	104	Cuencas e Islas entre Río Bueno y Río Puelo	4	3	3	3	2	3	3	2,9	Crítica	
X Los Lagos	105	Río Puelo		1	3	2	2	1	3	2,1		
X Los Lagos	106	Costeras entre Río Puelo y Río Yelcho		1	4	2	3	3	3	2,6		
X Los Lagos	107	Río Yelcho		1	3	2	2	1	1	1,6		
X Los Lagos	108	Costeras entre R.Yelcho y limite Regional		1	4	2	2	1	1	1,8		
X Los Lagos	109	Islas Chiloé y Circundantes		3	3	2	2	1	3	2,6		
X Los Lagos	110	Río Palena y Costeras Limite Décima Región		1	3	2	2	1	1	1,6		
XI Aysén	111	Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aysén		1	2	2	2	3	1	1,6		
XI Aysén	112	Archipiélagos de las Guaitecas y de Los Chonos		1	3	2	3	3	1	1,9		
XI Aysén	113	Río Aysén	4	2	3	2	3	4	1	2,3	Crítica	
XI Aysén	114	Costeras e Islas entre R Aysén y R Baker y Canal Gral. Martínez		1	3	2	3	3	1	1,9		
XI Aysén	115	Río Baker		1	3	3	2	3	1	1,9		
XI Aysén	116	Costeras e Islas entre R. Baker y R. Pascua		1	3	2	3	3	1	1,9		
XI Aysén	117	Río Pascua		1	3	2	2	3	1	1,8		
XI Aysén	118	Costeras entre R. Pascua Limite Región. Archipiélago		1	3	2	3	3	1	1,9		
#N/A	119	Cuenca del Pacífico		s/i	s/i	s/i	s/i	s/i	1			
XII Magallanes	120	Costeras entre Límite Región y Seno Andrew		1	3	3	2	1	1	1,7		

Ponderaciones				25%	20%	10%	10%	10%	25%		
Regiones	Cuenc a BNA	Nombre Cuenca	MERHC	Población	Brechas Estratégicas				Balance hídrico	Evaluación de ponderadores	
				Población	D1	D2	D3	D4	CBH	Según % de relevancia	Cuencas Seleccionadas
XII Magallanes	121	Islas entre limite Región y Canal Ancho y Estrecho de la Concepción		1	3	3	2	1	1	1,7	
XII Magallanes	122	Costeras entre Seno Andrew, Río Hollemberg e islas al oriente	4	2	3	3	2	3	3	2,7	Crítica
XII Magallanes	123	Cuencas en islas entre canales Concepción, Sarmiento y Estrecho de Magallanes		1	3	2	2	1	1	1,6	
XII Magallanes	124	Costeras e islas entre Río Hollemberg y Laguna Blanca		1	4	3	3	3	1	2,2	
XII Magallanes	125	Costeras entre Laguna Blanca, Seno Otway, Canal Jerónimo y Estrecho de Magallanes		3	3	2	2	3	3	2,8	Crítica
XII Magallanes	126	Vertiente del Atlántico		1	3	3	2	1	1	1,7	
XII Magallanes	127	Cuencas en islas al sur del Estrecho de Magallanes		1	3	2	3	1	1	1,7	
XII Magallanes	128	Tierra del Fuego		1	3	2	2	1	3	2,1	
XII Magallanes	129	Islas al sur del Canal Beagle y Territorio Chileno Antártico		1	4	2	3	1	1	1,9	

Fuente: Elaboración propia.

5.3 ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

En este acápite se da cuenta de las obras de infraestructura, relativas al recurso hídrico relevantes para el propósito de este estudio. Para esto, primero se realizó la identificación de infraestructura existente al año 2023 de acuerdo a los catastros y base de datos públicos existentes; luego se analiza el estado de la infraestructura existente, incluyendo las nuevas fuentes disponibles para su abastecimiento. El detalle del análisis desarrollado se presenta en el acápite 3.1 de los informes regionales.

5.3.1 Infraestructura hídrica existente al año 2023

La identificación de las obras de infraestructura relativas al recurso hídrico que son relevantes para el propósito del estudio, se realiza a partir de la información pública que disponen los distintos organismos del Estado vinculados a la materia, entre los que se destaca la Dirección General de Aguas, la Comisión Nacional de Riego y la Superintendencia de Servicios Sanitarios.

A partir de la acción antes señalada, se reconoce la existencia de las obras de infraestructura presentes en las regiones sobre las cuales se realiza la caracterización y diagnóstico. Las iniciativas de infraestructura hídrica estructural corresponden, principalmente, a redes hidrométricas, producción y distribución de agua potable y tratamiento de aguas servidas, defensa fluvial y aluvional, infraestructura de riego, obras de acumulación de agua, recarga de acuíferos y conservación de riberas. Cabe señalar que, en el caso de las iniciativas regionales, se han aplicado para todas las cuencas de la región.

El diagnóstico de la infraestructura hídrica considera el levantamiento de información de iniciativas de inversión pública, vinculadas a la temática, integrando el análisis de soluciones mixtas (infraestructura verde y gris) y soluciones basadas en la naturaleza, así como también los comentarios aportados durante las reuniones PAC del estudio con el Comité de Planificación Integrada del Ministerio de Obras Públicas (CPI-MOP) y otras instituciones.

La identificación de cada tipo de obra y su correspondiente información de capacidades instaladas se presenta de forma georreferenciada en la geodatabase SIG para cada región en el Anexo C y en el acápite 3.1 de los informes regionales.

Con el objetivo de vincular las iniciativas catastradas, con los objetivos estratégicos nacionales, se presentan en la Tabla 5.3-1 las tipologías de iniciativas y las medidas asociadas que potencialmente podrían ayudar a alcanzar los objetivos estratégicos.

Tabla 5.3-1 Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas nacionales

Dimensión estratégica Seguridad Hídrica Nacional	Tipo de iniciativas necesarias para alcanzar objetivos (A)		
	Infraestructura estructural	Infraestructura no estructural	Medidas de Gestión
D1. Derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	Producción-distribución de agua potable	Estudio hidrogeológico disponibilidad hídrica	Creación de capital humano Planes y políticas
	Saneamiento y tratamiento de aguas servidas	Estudios de saneamiento	Creación de capital humano Planes y políticas
	Captación de aguas	Estudios para abastecimiento de agua potable	Reservas de agua Planes y políticas Análisis situación legal DAA
	Captación de aguas	Reservas y áreas de protección de recursos hídricos Estudios para abastecimiento de agua potable	N/A
	Infraestructura de distribución de agua	Estudio obras de distribución de aguas	N/A
	Desalinización Reúso de aguas residuales (grises/servidas/luvia) Recarga artificial de acuíferos	Estudios de desalación Estudio de reúso de aguas Estudios de aguas lluvias Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
D2. Producción sostenible y eficiencia hídrica	Infraestructura de riego	Estudios para la conservación obras de riego Estudio sistemas de riego	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA
	Infraestructura de distribución de agua	Estudio obras de distribución de aguas	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA
	Captación de aguas	Incentivos para el recambio cultivos de menor requerimiento hídrico Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	Campañas para el recambio cultivos de menor requerimiento hídrico
	N/A	Diagnóstico de OUA y DAA	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA Fortalecimiento y formalización de OUA Planes y políticas
	Redes hidrométricas y telemedición	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Creación de capital humano
	Obras de acumulación de agua Trasvase de aguas	Reglas de operación para embalses Estudios obras de acumulación de agua	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA Fortalecimiento y formalización de OUA Planes y políticas
	Desalinización Reúso de aguas residuales (grises/servidas/luvia) Recarga artificial de acuíferos	Estudios de desalación Estudio de reúso de aguas Estudios de aguas lluvias Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-1 Tipología de iniciativas asociadas a resolver brechas estratégicas (Continuación)

Dimensión estratégica Seguridad Hídrica Nacional	Tipo de iniciativas necesarias para alcanzar objetivos (A)		
	Infraestructura estructural	Infraestructura no estructural	Medidas de Gestión
D3. Conservación y preservación de los ecosistemas	Reúso de aguas residuales	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. Estudios contaminación de aguas	Manejo riesgos de contaminación de aguas
	Saneamiento y tratamiento de aguas servidas	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. Estudios contaminación de aguas	Creación de capital humano Manejo riesgos de contaminación de aguas
	Reúso de aguas residuales	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
	Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación y restauración de riberas y cauces	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
	Redes hidrométricas y telemedición	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Creación de capital humano Planes y políticas
	Redes hidrométricas y telemedición	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
	Redes hidrométricas y telemedición	Estudio calidad de agua superficial. y subterránea. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
	Conservación y restauración de riberas y cauces	Estudio conservación y restauración de riberas y cauces	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
	Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación y restauración de riberas y cauces Comportamiento morfodinámico e hidrodinámico de humedales	Manejo de normas ambientales e hídricas Reservas de agua Planes y políticas
D4. Resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación	Redes de aguas lluvias Drenaje de aguas	Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
	Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres Defensa fluvial y aluvional	Estudios de riesgo fluvial y aluvional Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
	Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres Defensa fluvial y aluvional	Estudios de riesgo fluvial y aluvional Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
		Análisis sistemas glaciares y periglaciares	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 Brechas de infraestructura hídrica

Este acápite se desarrolló mediante un proceso sistemático que comenzó con la definición de objetivos específicos de gestión del agua, organizados en torno a cuatro dimensiones clave de seguridad hídrica: derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano (D1); producción sostenible y eficiencia hídrica (D2); conservación de ecosistemas (D3); y resiliencia ante amenazas como sequías, crecidas y contaminación (D4).

Con estos objetivos como base, se identificaron brechas estratégicas para cada dimensión de seguridad hídrica. Para evaluar y priorizar las cuencas, se desarrollaron indicadores específicos que reflejan las necesidades de cada una en función de los objetivos establecidos. A cada indicador se le asignó un nivel de criticidad según su urgencia de intervención, utilizando una escala de alta (valor 4), media (valor 2) y baja (valor 1) criticidad. Esta clasificación facilitó la evaluación de la vulnerabilidad de cada cuenca y guio la asignación de brechas específicas de infraestructura.

Con base en los niveles de criticidad obtenidos, se definieron las intervenciones necesarias para cada cuenca, clasificándolas en infraestructura estructural, infraestructura no estructural y medidas de gestión. Este análisis general de brechas de infraestructura constituye la base para definir la cartera de inversiones en los siguientes capítulos del estudio, proporcionando una visión clara de las necesidades prioritarias en cada área y permitiendo una planificación eficiente de las intervenciones. El detalle del análisis se encuentra en los Anexos 0X.05 regionales. En la Tabla 5.3-3 se presenta el universo y las metas por tipología utilizadas para definir la cartera asociada a las iniciativas estratégicas. En los Anexos 0X.07 regionales, se presenta el detalle por tipo de inversión.

Las brechas generales identificadas a lo largo de Chile se resumen en la Tabla 5.3-3 y Tabla 5.3-4 organizadas por dimensión de seguridad hídrica, mientras que el detalle del análisis se encuentra en el acápite 4.3 de los informes regionales.

Tabla 5.3-2 Universo y metas de infraestructura según tipología

Código TP	Tipología de Proyecto (TdP)	Universo	Metas
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	Población sin Abastecer 2055	-
1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	Población sin Abastecer 2055	-
1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	Total de APR existentes y Proyectados 2055	-
1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	Población sin Saneamiento 20255 (AOR existente y proyectado)	-
2-1	Evaluación de Alternativas de Nuevas Fuentes de Abastecimiento de Agua para Consumo Humano y/o Riego. Posterior Diseño, Construcción y Operación de Alternativas Resilientes al Efecto del Cambio Climático	Planes de Recursos Hídricos y Riego según Vigencia	-
2-2	Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras	Población sin Abastecer 2055 en sector costero (2 km de borde costero)	-
2-3	Eficiencia en el Uso del Agua: - Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego; - Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable Urbana	Normalización de elementos eficientes para APR según N° de arranques existentes y proyectados	-
2-4	Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos	De acuerdo a disminución de recarga y características favorables para la recarga	Máximo 30 ha por cuenca
2-5	Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas para Riego	Aguas recolectadas y tratadas en Sistemas APR y APU de emisarios submarinos	-
2-6	Desarrollo de Regularización de DAA en Captaciones; Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios; Plan de Seguimiento a Planes de Riego	Cuantificado según número de inversiones	-
2-7	Diseño, Construcción de Grandes Obras de Riego; Diseño, Construcción de Obras Medianas de Riego; Conservación de Obras Fiscales y No Fiscales de Riego	Programa de Embalses DOH	Considera una meta de avance de 5% del total de canales
3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluviométricas en Cauces y/o Canales	Cuantificado según número de inversiones	-
3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas	Cuantificado según número de inversiones	-
3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas	Cuantificado según número de inversiones	-
3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves	Cuantificado según número de inversiones	-
3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación	Cuantificado según número de inversiones	-
3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas	Cuantificado según número de inversiones	-
4-1	Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces	-	Rendimiento de avance a validar con región (1 km-año); OCAS: Rendimiento de avance 16 km-año
4-2	Medida de Gestión: Implementación de Norma Secundaria de Calidad	Priorizar ejecución de estudios	-
5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas	Planes de Manejo de Cauce según Vigencia	Rendimiento de avance a validar con región (1 km-año)
5-2	Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición, Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas	Planes de Manejo de Cauce según Vigencia	Rendimiento de avance a validar con región (2 km-año)
5-3	Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias	Planes de Aguas Lluvia según Vigencia y N° de habitantes sector Urbano	Rendimiento de avance a validar con región (1 km-año)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-3 Brechas de infraestructura generales a nivel nacional

ID	Dimensión estratégica Seguridad Hídrica	Brechas estratégicas	Tipo de iniciativas necesarias para resolver la brecha estratégicas		
			Infraestructura estructural	Infraestructura no estructural	Medidas de Gestión
D1	Derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	Población de localidades rurales desconcentradas sin servicios de agua potable	Producción-distribución de agua potable	Estudio hidrogeológico disponibilidad hídrica	Creación de capital humano Planes y políticas
		Déficit en la cobertura del servicio de saneamiento y tratamiento en APR concentrados	Saneamiento y tratamiento de aguas servidas	Estudios de saneamiento	Creación de capital humano Planes y políticas
		Aumento de la demanda de agua potable en áreas sin planificación y sin disponibilidad suficiente.	Captación de aguas	Estudios para abastecimiento de agua potable	Reservas de agua Planes y políticas Análisis situación legal DAA
		Aumento de la demanda de agua potable urbana asociada a un incremento de la población	Captación de aguas	Reservas y áreas de protección de recursos hídricos Estudios para abastecimiento de agua potable	N/A
		Deterioro en el sistema de distribución de agua potable (pérdidas)	Infraestructura de distribución de agua	Estudio obras de distribución de aguas	N/A
		Insuficiente incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el consumo humano a escalas relevantes	Desalinización Reúso de aguas residuales (grises/servidas/lluvia) Recarga artificial de acuíferos	Estudios de desalación Estudio de reúso de aguas Estudios de aguas lluvias Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
D2	Producción sostenible y eficiencia hídrica	Déficit en tecnificación del riego y modernización de sistemas de control de heladas	Infraestructura de riego	Estudios para la conservación obras de riego Estudio sistemas de riego	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA
		Deterioro en el sistema de distribución de agua para riego	Infraestructura de distribución de agua	Estudio obras de distribución de aguas	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA
		Aumento de la demanda de agua para riego debido a superficies de cultivo con uso intensivo de agua	Captación de aguas	Incentivos para el recambio cultivos de menor requerimiento hidrico Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	Campañas para el recambio cultivos de menor requerimiento hidrico
		Descoordinación entre las instituciones con atribuciones en la gestión del agua de la cuenca (Juntas de vigilancia, organizaciones de usuarios, organismos del Estado, etc.).	N/A	Diagnóstico de OUA y DAA	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA Fortalecimiento y formalización de OUA Planes y políticas
		Déficit de modernización de tecnologías y optimización del uso a través de equipos y procesos para la eficiencia hídrica en la producción agrícola, minera e industrial	Redes hidrométricas y telemedición	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Creación de capital humano
		Disminución de aportes superficiales a grandes obras de acumulación (embalses)	Obras de acumulación de agua Trasvase de aguas	Reglas de operación para embalses Estudios obras de acumulación de agua	Creación de capital humano Análisis situación legal DAA Fortalecimiento y formalización de OUA Planes y políticas
		Insuficiente incentivos para uso de fuentes no convencionales de agua para el desarrollo de actividades productivas a escalas relevantes	Desalinización Reúso de aguas residuales (grises/servidas/lluvia) Recarga artificial de acuíferos	Estudios de desalación Estudio de reúso de aguas Estudios de aguas lluvias Estudio obras de recarga artificial de acuíferos	Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-4 Brechas de infraestructura generales a nivel nacional (continuación)

ID	Dimensión estratégica	Brechas estratégicas	Tipo de iniciativas necesarias para resolver la brecha estratégicas		
			Infraestructura estructural	Infraestructura no estructural	Medidas de Gestión
D3	Conservación y preservación de los ecosistemas	Escaso manejo de contaminantes y pasivos ambientales en agricultura	Reúso de aguas residuales	Estudio calidad de agua sup. y subt. Estudios contaminación de aguas	Manejo riesgos de contaminación de aguas
		Deterioro de la calidad de aguas debido a las descargas de aguas servidas desde localidades rurales sin servicios desaneamiento	Saneamiento y tratamiento de aguas servidas	Estudio calidad de agua sup. y subt. Estudios contaminación de aguas	Creación de capital humano Manejo riesgos de contaminación de aguas
		Rriesgos de contaminación de las aguas por parte de sector industrial y minero asociado a eventos de crecidas e inundaciones	Reúso de aguas residuales	Estudio calidad de agua sup. y subt. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas
		Ecosistemas adyacentes a sistemas acuáticos afectadas por cambio de uso de suelo o uso productivo intensivo	Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación y restauración de riberas y cauces Comportamiento morfodinámico e hidrodinámico de humedales	Manejo de normas ambientales e hídricas Reservas de agua Planes y políticas
		Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas superficiales	Redes hidrométricas y telemedición	Estudio calidad de agua sup. y subt. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
		Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas subterráneas	Redes hidrométricas y telemedición	Estudio calidad de agua sup. y subt. Estudios contaminación de aguas	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
		Deficiente monitoreo de parámetros relevantes de calidad de aguas e hidrometría	Redes hidrométricas y telemedición	Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Creación de capital humano Planes y políticas
		Pérdida de capacidad natural de los ecosistemas para mejorar la calidad ambiental de las aguas y mantener servicios ecosistémicos	Conservación y restauración de riberas y cauces	Estudio conservación y restauración de riberas y cauces	Manejo de normas ambientales e hídricas Manejo riesgos de contaminación de aguas Reservas de agua
		Degradación y pérdida de servicios ecosistémicos provistos por humedales, salares u otro tipo de ecosistema acuático	Conservación y restauración de riberas y cauces	Conservación y restauración de riberas y cauces Comportamiento morfodinámico e hidrodinámico de humedales	Manejo de normas ambientales e hídricas Reservas de agua Planes y políticas
D4	Resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación	Baja efectividad de sistemas de drenaje de aguas lluvia	Redes de aguas lluvias Drenaje de aguas	Estudio hidrológico o hidrogeológico para disponibilidad hídrica	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
		Aumento del impacto de eventos de crecida asociado a precipitaciones intensas.	Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres Defensa fluvial y aluvional	Estudios de riesgo fluvial y aluvional Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas
		Aumento del impacto por eventos de deslizamientos de tierra sobre infraestructura y poblaciones.	Reforestación y forestación de cuencas para disminución de riesgo de desastres Defensa fluvial y aluvional	Estudios de riesgo fluvial y aluvional Análisis de red hidrométrica y plataformas de información	Manejo de quebradas Manejo de normas ambientales e hídricas Planes y políticas

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS EN ESCENARIOS DE DESARROLLO FUTURO SENSIBILIZADOS POR CAMBIO CLIMÁTICO

Considerando que el establecimiento de objetivos, la definición de brechas y la construcción de una cartera de inversión de infraestructura hídrica regional ha sido desarrollada en los acápite anteriores; el presente capítulo se enfocará en la selección de factores críticos y la propuesta de escenarios de desarrollo para la toma de decisiones sobre infraestructura hídrica a largo plazo.

6.1 SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN

Para la selección de factores se consideró como supuesto que unos pocos actores clave impulsan las decisiones que conducen a la implementación de proyectos, y que las decisiones se basan en un conjunto discreto de factores que colectivamente dan forma a las decisiones finales (Siddiqi, Ereiqat, & Diaz Anadon, 2016). Es así como, inicialmente, se identificaron diferentes factores críticos transversales a nivel nacional, los cuales fueron evaluados en acápite anteriores para escenarios futuros sujetos al comportamiento de los recursos hídricos bajo el efecto del cambio climático. En general, dichos factores se vinculan a variables como:

- Distribución geográfica y migración: proyección de crecimiento poblacional
- Brechas hídricas y de infraestructura asociadas a la demanda del recurso: Uso y distribución de agua para el consumo humano, el desarrollo económico-productivo, y para la conservación y preservación ecosistémica.
- Brechas hídricas y de infraestructura asociadas a la oferta del recurso y calidad de agua: Sustentabilidad de fuentes de abastecimiento hídrico para diferentes usos y la prevención de contaminación. Incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento hídrico. Resiliencia frente a eventos extremos.

- **Gobernanza hídrica:** colaboración entre los diversos actores involucrados en la gestión hídrica. Desarrollo económico local e impacto social de proyectos de infraestructura hídrica. Acceso a información hídrica en cantidad y calidad.

Las selecciones de estos factores permiten obtener información sobre qué escenarios pueden impulsar la progresión a lo largo de posibles diferentes vías de desarrollo e impulsar la selección de proyectos particulares en el futuro. En este contexto, y con el fin de dar respuesta a las brechas de seguridad hídricas, se propusieron Iniciativas Estratégicas, las cuales engloban un espectro de tipos de proyectos similares que, a su vez, cuentan con una cartera de pre/inversiones. El detalle se presenta en el Anexo 07 “IE” de cada región.

A continuación, se presenta la propuesta general de escenarios de desarrollo futuro, en base a las incertidumbres, vulnerabilidades y oportunidades de la cartera de acciones actual.

6.2 PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO

En un contexto global marcado por el cambio climático, el crecimiento poblacional y el desarrollo económico, la gestión sostenible de los recursos hídricos se ha convertido en un desafío crucial para la región. Las mega tendencias globales como el cambio climático, el urbanismo, la intensificación de la agricultura y las dinámicas demográficas están reconfigurando las demandas y disponibilidades de agua. En paralelo, los quiebres de tendencia regionales pueden alterar el comportamiento esperado de estos factores, lo que genera incertidumbre en torno a la seguridad hídrica.

En este acápite se presentan los cuatro escenarios de desarrollo que reflejan la interacción de las **tendencias globales, los factores locales y los quiebres de tendencia regionales**, y su impacto en los aspectos mencionados de la **brecha de seguridad hídrica y la capacidad de respuesta del sistema**. Estos escenarios desarrollo corresponden a:

- **Estancamiento crítico:** Aumenta la brecha de seguridad hídrica y se obstaculiza la capacidad de respuesta.
- **Desafío gestionable:** Aumenta la brecha de seguridad hídrica, pero no se obstaculiza la capacidad de respuesta.
- **Capacidad limitada:** No aumenta la brecha de seguridad hídrica, pero se obstaculiza la capacidad de respuesta.
- **Avance sostenible y resiliente:** No aumenta la brecha de seguridad hídrica y no se obstaculiza la capacidad de respuesta.

Cada escenario ha sido diseñado para proporcionar una visión amplia sobre cómo se pueden desarrollar los recursos hídricos en la región y cómo las políticas y las inversiones pueden mitigar o potenciar los desafíos.

6.2.1 Análisis de estancamiento crítico

Chile enfrenta un escenario desafiante en materia de gestión del agua. La presión sobre los recursos hídricos proviene de una combinación de crecimiento productivo acelerado, impactos del cambio climático y deficiencias estructurales en infraestructura y gobernanza. A medida que las industrias clave del país—minería, agroindustria, hidrógeno verde y acuicultura—se expanden, la disponibilidad de agua se convierte en un factor crítico para su sostenibilidad. No se trata solo de mantener el acceso al recurso, sino de garantizar su uso eficiente y equitativo en un contexto de alta competencia entre sectores. La respuesta a estos desafíos debe combinar inversión en infraestructura, modernización regulatoria y la adopción de tecnologías emergentes que optimicen el uso del agua y minimicen su impacto ambiental.

El auge del litio y la expansión de la minería en el norte de Chile están generando una demanda creciente de agua en regiones que ya enfrentan un estrés hídrico severo. Antofagasta y Atacama, donde se concentran las operaciones mineras más importantes, dependen en gran medida del agua subterránea y de procesos de evaporación en salares, como en el caso del Salar de Atacama y Salar de Maricunga. La sobreexplotación de estos cuerpos de agua amenaza su sostenibilidad y pone en riesgo los ecosistemas asociados. Las empresas del sector están comenzando a implementar tecnologías de extracción directa de litio (DLE), que pueden reducir el consumo de agua hasta en un 80% en comparación con los métodos tradicionales. Sin embargo, su adopción aún es incipiente, y persisten resistencias debido a los costos iniciales y la necesidad de adaptar la infraestructura existente. La creciente inversión en plantas desalinizadoras en la zona norte se perfila como una alternativa para mitigar la presión sobre los acuíferos, aunque su implementación requiere una planificación integrada que considere su impacto en los ecosistemas costeros.

En paralelo, la industria del hidrógeno verde se presenta como una de las principales apuestas económicas del país, con proyectos en Magallanes y Antofagasta orientados a la exportación de este combustible limpio a Europa y Asia. No obstante, la producción de hidrógeno mediante electrólisis requiere grandes volúmenes de agua, lo que plantea un desafío en términos de abastecimiento. Cada kilogramo de hidrógeno producido consume aproximadamente nueve litros de agua, una cantidad significativa si se proyecta una producción a escala industrial. Para evitar conflictos con el consumo humano y la agricultura, la industria está explorando el uso de agua desalada en sus procesos, además de la posibilidad de incorporar sistemas de reutilización de aguas servidas tratadas. La

eficiencia hídrica en este sector será determinante para su viabilidad en el largo plazo y su compatibilidad con otras necesidades productivas y sociales.

La expansión de la agroindustria ha sido otro factor determinante en la presión sobre los recursos hídricos. O'Higgins, Maule y Coquimbo, regiones tradicionalmente agrícolas, han visto un incremento en la demanda de agua debido a la intensificación de cultivos de alto consumo, como la palta, la uva de exportación y los arándanos. La sobreexplotación de cuencas como el Río Aconcagua y el Río Limarí ha generado conflictos entre agricultores y usuarios urbanos, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de manejo integrado de cuencas. La modernización de los sistemas de riego es una de las principales soluciones en este ámbito, con la incorporación de sensores IoT para optimizar la distribución del agua y evitar pérdidas innecesarias. Adicionalmente, la diversificación productiva con cultivos menos demandantes de agua es una alternativa viable que debe ser promovida mediante incentivos económicos y asistencia técnica para los agricultores.

La acuicultura, que ha convertido a Chile en el segundo mayor productor de salmón del mundo, también está teniendo un impacto creciente en la calidad del agua en regiones como Los Lagos, Aysén y Magallanes. La acumulación de residuos orgánicos en fiordos y cuerpos de agua cercanos a los centros de cultivo genera eutrofización y afecta los ecosistemas marinos. Esto, a su vez, puede comprometer la calidad del agua potable en comunidades costeras que dependen de estas fuentes para su abastecimiento. La adopción de sistemas de recirculación en acuicultura (RAS) está siendo explorada como una solución para reducir la descarga de residuos en el medio ambiente, pero su implementación a gran escala aún enfrenta barreras técnicas y económicas. La regulación del sector debe evolucionar para exigir estándares más estrictos en el manejo de residuos y monitoreo ambiental, asegurando que el crecimiento de la industria no comprometa la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos.

Para abordar estos desafíos, se están diseñando nuevas estrategias que combinan gobernanza, infraestructura y tecnología. La creación de una Agencia Nacional de Seguridad Hídrica permitiría una gestión más integrada y eficiente de los recursos, centralizando la toma de decisiones y eliminando la fragmentación institucional que actualmente ralentiza las respuestas a las crisis hídricas. A nivel regulatorio, la implementación de tarifas progresivas para el uso industrial del agua incentivaría la eficiencia en sectores como la minería y la agroindustria, mientras que sanciones por uso ineficiente o contaminación del recurso generarían un marco de mayor responsabilidad ambiental.

En términos de infraestructura, la construcción de nuevas plantas desalinizadoras multipropósito en Coquimbo, Atacama y Antofagasta es una de las principales apuestas

para diversificar las fuentes de abastecimiento de agua. Estas plantas no solo podrían abastecer a la minería y la industria, sino también contribuir al suministro urbano en zonas costeras afectadas por la escasez hídrica. Paralelamente, la reducción de pérdidas en redes urbanas de distribución de agua potable en ciudades como Santiago, Valparaíso y Concepción es una prioridad, dado que en algunas zonas las fugas pueden representar hasta un 40% del suministro total. La implementación de sensores IoT y monitoreo en tiempo real permitiría identificar y reparar fugas con mayor eficiencia, optimizando la disponibilidad del recurso.

La reutilización de aguas servidas tratadas es otra estrategia clave para mejorar la seguridad hídrica en el país. En ciudades con alta demanda, como Santiago y Valparaíso, se podrían destinar aguas recicladas a usos industriales, riego de áreas verdes y procesos de refrigeración en plantas energéticas, reduciendo así la presión sobre las fuentes naturales. Esta estrategia, ya implementada con éxito en países como Singapur y España, requiere una modernización de las plantas de tratamiento y una inversión inicial significativa, pero sus beneficios en términos de ahorro hídrico son innegables.

Las tecnologías emergentes juegan un papel fundamental en la optimización del recurso hídrico. La inteligencia artificial y el big data están siendo utilizados para predecir sequías, optimizar redes de distribución y mejorar la eficiencia en el riego agrícola. Modelos avanzados de machine learning pueden anticipar patrones de consumo y detectar anomalías en el uso del agua, permitiendo una respuesta más rápida y efectiva. La nanotecnología, por su parte, está revolucionando los sistemas de filtración y purificación del agua, con membranas avanzadas capaces de eliminar contaminantes con mayor eficiencia y menor consumo energético. Otras innovaciones, como la captación de agua atmosférica mediante condensación, están siendo exploradas en regiones áridas como el desierto de Atacama, donde la humedad del aire puede convertirse en una fuente alternativa de abastecimiento.

El impacto de estas estrategias en la economía es significativo. En base a la cartera de medidas desarrolladas para cada región, se estima que la inversión en infraestructura hídrica en la próxima década alcanzará los 5.500 millones de dólares, con un crecimiento sostenido en el desarrollo de plantas desalinizadoras, modernización de sistemas de riego y expansión de redes de distribución urbana. De acuerdo al estudio integral desarrollado para el Plan Director (DIRPLAN, 2024), esta inversión podría generar alrededor de 50.000 empleos directos e indirectos en el sector de la construcción, operación y mantenimiento de infraestructuras hídricas, además de impulsar nuevas oportunidades en la industria de la eficiencia hídrica y el monitoreo ambiental. Con una planificación estratégica adecuada y

la adopción de tecnologías innovadoras, Chile puede transformar sus desafíos hídricos en una oportunidad para consolidar un modelo de desarrollo más resiliente y sostenible.

6.2.2 Análisis de desafío gestionable

Chile enfrenta un cambio estructural en su economía, con una creciente presión sobre sus recursos hídricos debido al crecimiento del sector agrícola, minero y energético. Estos sectores, esenciales para la economía nacional, dependen en gran medida del agua, lo que ha llevado a una planificación más estricta y a la necesidad de nuevas estrategias de gestión hídrica. En particular, el sector agrícola, el mayor consumidor de agua en el país, continúa su expansión con la consolidación de la agroindustria en la zona central y el crecimiento de cultivos de exportación en regiones como Coquimbo, O'Higgins y Maule. En estas zonas, el uso intensivo del recurso ha llevado a una competencia creciente por el agua, afectando tanto a las comunidades locales como a otros sectores productivos.

Las proyecciones hasta 2055 indican un incremento en la demanda de agua para riego, con un crecimiento significativo en regiones clave. En Coquimbo, la agroindustria y fruticultura requieren un 20% más de agua para sostener la producción. En el Maule, el aumento del 18% en el uso de agua para cultivos de exportación como la vid y los manzanos ha llevado a mayores inversiones en riego tecnificado y optimización del uso del recurso. En O'Higgins, los sistemas de riego tradicionales están siendo reemplazados por tecnologías más eficientes para garantizar la sostenibilidad del sector. La presión sobre los embalses existentes, como el Embalse Convento Viejo y el Embalse Ancoa, ha generado la necesidad de planes de expansión y construcción de nuevas reservas de agua. Además, en cuencas como el Cachapoal y el Mataquito, se han implementado estrategias de recarga artificial para aumentar la disponibilidad del recurso en períodos de sequía prolongada.

El sector minero, que históricamente ha sido un alto consumidor de agua en el norte del país, se encuentra en un proceso de transición hacia fuentes alternativas para reducir su impacto en las comunidades y ecosistemas locales. La creciente extracción de litio en la cuenca del Salar de Atacama ha intensificado el debate sobre el uso del agua en la minería no metálica, particularmente en la Región de Antofagasta. En la cuenca del río Loa, la sobreexplotación de acuíferos ha llevado a restricciones en la extracción de agua subterránea, lo que ha impulsado el desarrollo de plantas desalinizadoras para abastecer a las operaciones mineras. En Mejillones, Tocopilla y Taltal, se han construido nuevas plantas de desalinización para reducir la presión sobre las fuentes de agua dulce y garantizar la continuidad de la actividad minera sin afectar el abastecimiento de las comunidades locales.

El sector energético, en plena transformación hacia fuentes renovables, también ha aumentado su demanda de agua, especialmente en la producción de hidrógeno verde. Se

estima que para 2050, Chile producirá cuatro millones de toneladas de hidrógeno verde, con plantas en Magallanes, Antofagasta y Atacama. La producción de este recurso requiere grandes cantidades de agua para el proceso de electrólisis, lo que ha llevado a la planificación de nuevas plantas desalinizadoras en el norte del país. En la Región de Atacama, las centrales termosolares en Diego de Almagro y Copiapó han integrado sistemas de recirculación para minimizar el uso de agua en la refrigeración térmica. El desarrollo de estas tecnologías ha permitido reducir la huella hídrica del sector energético, pero también ha generado desafíos en términos de integración con los sistemas de abastecimiento local.

Para hacer frente a estas demandas crecientes, Chile ha comenzado a incorporar nuevas tecnologías y estrategias para optimizar el uso del agua en todos los sectores productivos. Una de las principales innovaciones ha sido la implementación de infraestructura hídrica inteligente, con sistemas de monitoreo en tiempo real para la gestión del recurso. En cuencas estratégicas como el río Maipo, el río Aconcagua y el río Itata, se han instalado sensores avanzados que permiten prever sequías e inundaciones, mejorando la planificación y distribución del agua. En la Región Metropolitana, el monitoreo del embalse El Yeso ha sido clave para anticipar escenarios de escasez hídrica y coordinar la respuesta de las empresas sanitarias.

La reutilización de aguas servidas ha emergido como una solución viable para mejorar la eficiencia hídrica en zonas con alta demanda. En Coquimbo, Valparaíso y la Región Metropolitana, se han implementado proyectos piloto de riego con aguas tratadas, permitiendo reducir la extracción de aguas superficiales y subterráneas. En la Región del Biobío, las plantas de tratamiento de aguas servidas han sido ampliadas para suministrar agua reciclada a la industria forestal, disminuyendo la presión sobre los ríos y lagos de la zona. Estas iniciativas han demostrado ser efectivas para reducir el déficit hídrico en sectores productivos clave, impulsando la adopción de modelos de economía circular del agua en distintas regiones.

La desalinización ha tomado un rol protagónico en la estrategia de abastecimiento de agua, con la construcción de nuevas plantas en el norte del país. En Caldera, una desalinizadora en desarrollo abastecerá tanto a la población como a las industrias locales, garantizando la sostenibilidad del suministro en la Región de Atacama. En Antofagasta, la integración de agua desalada a los sistemas urbanos ha reducido la dependencia de fuentes tradicionales, permitiendo redistribuir el recurso a comunidades rurales con acceso limitado. La expansión de estas infraestructuras ha permitido mitigar el impacto de la sequía en las regiones más afectadas, asegurando un suministro continuo de agua para consumo humano e industrial.

El incentivo a la eficiencia hídrica en la agricultura ha sido otra de las estrategias clave para reducir el consumo de agua. En la Región de O'Higgins y el Maule, los programas de modernización del riego han permitido mejorar la eficiencia del uso del agua en un 30%, aumentando la productividad sin incrementar la extracción del recurso. En la Región de Valparaíso, la implementación de sistemas de riego por goteo en la fruticultura ha optimizado el uso del agua, permitiendo una producción más sostenible. Estas medidas han sido fundamentales para mantener la competitividad del sector agrícola en un contexto de creciente escasez hídrica.

El desarrollo de infraestructura hídrica resiliente ha sido un eje central de la planificación territorial en Chile. En cuencas como el Maipo, Aconcagua y Biobío, se han diseñado planes de expansión de embalses y sistemas de regulación de caudales para garantizar la disponibilidad de agua en períodos de sequía. En la Región del Ñuble, la construcción del Embalse La Punilla busca mejorar la seguridad hídrica de los agricultores y abastecer de agua potable a las comunidades locales. La gestión integrada de cuencas ha permitido mejorar la distribución del recurso, asegurando un equilibrio entre las necesidades de consumo humano, la actividad productiva y la conservación de los ecosistemas.

El crecimiento de la demanda hídrica en Chile ha planteado desafíos significativos en términos de planificación y gestión del agua. La incorporación de tecnologías avanzadas, la diversificación de fuentes de abastecimiento y la optimización del uso del recurso han permitido mejorar la resiliencia hídrica del país. Sin embargo, la sostenibilidad de estos esfuerzos dependerá de la capacidad de adaptación a escenarios de cambio climático y del compromiso de los distintos actores para garantizar un uso equitativo y eficiente del agua en el futuro.

6.2.3 Análisis de capacidad limitada

El fenómeno de estancamiento crítico en la gestión hídrica de Chile se manifiesta a través de un deterioro progresivo en la seguridad del recurso hídrico, evidenciado por una creciente disparidad entre la oferta disponible y la demanda en expansión. Este proceso, exacerbado por los efectos del cambio climático, el incremento en los requerimientos hídricos tanto para consumo humano como para actividades económicas, y la insuficiente infraestructura y regulación, compromete la sostenibilidad del desarrollo nacional y la calidad de vida de su población. Los patrones observados en las últimas décadas revelan una vulnerabilidad estructural que, de no ser abordada con políticas integradas y basadas en evidencia, podría derivar en impactos irreversibles a nivel social, económico y ambiental. La disponibilidad hídrica en Chile ha disminuido de manera sostenida debido a una reducción en la pluviometría y a una recarga insuficiente de los acuíferos, lo que ha generado déficits estructurales en múltiples cuencas. Particularmente, la cuenca del Río Loa

(BNA 21) y el Salar de Atacama (BNA 25) exhiben niveles críticos de estrés hídrico, mientras que el Río Lluta (BNA 12) y el Río San José (BNA 13) presentan déficit hídrico estructural. Esta situación es particularmente grave en las regiones de Atacama, Antofagasta y Tarapacá, donde la actividad extractiva y agroindustrial depende de una disponibilidad estable del recurso hídrico que actualmente está en un proceso acelerado de agotamiento. Las tendencias productivas en el país han intensificado la presión sobre los recursos hídricos, especialmente en sectores como la agroindustria, la minería y la manufactura de alto consumo de agua. La expansión de cultivos intensivos en exportación, como los frutales en la Región de O'Higgins y el Maule, ha incrementado la demanda de riego, generando la necesidad de sistemas de eficiencia hídrica más avanzados. A nivel minero, la alta concentración de faenas en el norte del país ha llevado a un uso intensivo de agua subterránea, impactando la sostenibilidad de los acuíferos. Paralelamente, el crecimiento del sector energético, con un enfoque en energías renovables como la solar y la eólica, ha reducido la dependencia de generación hidroeléctrica, aunque aún persisten desafíos en la redistribución del recurso para otros sectores clave.

Las repercusiones en saneamiento y salud pública son igualmente severas. La contaminación de fuentes hídricas y la insuficiencia de sistemas de tratamiento han conducido a un aumento en la incidencia de enfermedades de origen hídrico, en especial en zonas rurales como la Provincia del Tamarugal y la Región de Coquimbo. Las diferencias en el acceso a agua potable y saneamiento entre áreas urbanas y rurales se han agudizado, con comunas como Petorca y La Ligua enfrentando restricciones severas, mientras que en la Región Metropolitana el suministro se mantiene estable, pero con una demanda creciente que podría comprometer su disponibilidad futura.

El impacto económico de la crisis hídrica es de gran magnitud, dada la interdependencia de sectores estratégicos como la agricultura, la minería y la generación energética con la disponibilidad del recurso. En la agricultura, la reducción del agua ha limitado la superficie cultivable y comprometido la competitividad de los productos agroexportadores. Sin estrategias de mitigación efectivas, y de acuerdo al análisis desarrollado para cada región, se estima que la producción agrícola podría disminuir entre un 20% y un 30% en la próxima década, afectando tanto el empleo como los ingresos fiscales. La Región del Maule y la Región de O'Higgins, fundamentales para la exportación frutícola, enfrentan desafíos significativos en la optimización del uso del agua para riego. En el sector minero, las restricciones al uso de agua han incrementado los costos operacionales, afectando la rentabilidad de explotaciones como Chuquicamata y Escondida. Asimismo, la reducción en la capacidad de generación hidroeléctrica en embalses como Rapel y Ralco ha incrementado la dependencia del país en fuentes fósiles de energía, con repercusiones en costos de producción y en la huella de carbono nacional.

El crecimiento económico y la inversión están siendo condicionados por la incertidumbre hídrica, lo que disminuye la capacidad de Chile para atraer inversión extranjera. Según el estudio integral desarrollado para el Plan Director (DIRPLAN, 2024), la reducción en la disponibilidad hídrica podría comprometer hasta un 3% del PIB anual, disminuyendo la competitividad de la industria y ralentizando la expansión de sectores productivos clave. La carencia de inversiones en infraestructura esencial, como embalses y plantas desalinizadoras en regiones críticas como Antofagasta y Tarapacá, agudiza esta situación.

Desde la perspectiva social, la crisis hídrica amplía las desigualdades ya existentes, con un impacto desproporcionado en comunidades rurales y periurbanas, donde el acceso a agua potable y servicios básicos es limitado. Las regiones de Ñuble y Biobío presentan brechas significativas en cobertura de saneamiento, mientras que, en la Región de Valparaíso, las limitaciones en la disponibilidad de agua han desencadenado conflictos por derechos de uso. La inequidad en la distribución del recurso genera tensiones sociales crecientes, con disputas entre sectores agrícolas, industriales y de consumo humano que requieren de una regulación efectiva para evitar conflictos y garantizar un acceso equitativo y sostenible.

El déficit en la gobernanza hídrica es otro factor crítico que amplifica la crisis. La fragmentación institucional y la falta de coordinación entre organismos responsables han obstaculizado la implementación de soluciones de largo plazo. La ausencia de un enfoque de planificación hídrica integrado ha conducido a una asignación ineficiente de derechos de uso y a la explotación insostenible de fuentes hídricas. Sin una estrategia de gobernanza robusta y mecanismos efectivos de fiscalización, la administración del recurso continuará siendo deficiente, incrementando la vulnerabilidad del país ante eventos de estrés hídrico. Para mitigar estos efectos, es imprescindible implementar estrategias que refuercen la seguridad hídrica del país. La modernización de la infraestructura es una prioridad, con inversiones dirigidas a embalses como Los Aromos y Chacrillas, la recarga artificial de acuíferos en la Región Metropolitana y la implementación de tecnologías avanzadas de tratamiento y reutilización de agua en el sector agroindustrial. La desalinización constituye una alternativa viable para regiones costeras, y la construcción de plantas desalinizadoras en Antofagasta y Atacama aliviaría la presión sobre los recursos hídricos continentales. Además, es crucial fortalecer la gobernanza del agua mediante la creación de una entidad reguladora con atribuciones para garantizar una asignación equitativa y sostenible del recurso.

Las nuevas tecnologías pueden desempeñar un papel clave en la eficiencia hídrica, con la incorporación de sensores de monitoreo en tiempo real, inteligencia artificial para optimizar el riego agrícola y sistemas avanzados de filtración y purificación. Modelos de economía circular, como el reúso de aguas residuales en procesos industriales y agrícolas, podrían reducir la presión sobre las fuentes hídricas convencionales. Asimismo, la

introducción de técnicas de desalación más eficientes y el uso de energías renovables para la gestión del agua contribuirían a mitigar los impactos ambientales de la crisis.

6.2.4 Análisis de avance sostenible y resiliente

Las proyecciones macroeconómicas y productivas de Chile (DIRPLAN, 2024) para las próximas tres décadas reflejan un crecimiento moderado del PIB, con una tasa de expansión de 1.38% en 2035, 1.34% en 2045 y 1.28% en 2055. Este crecimiento estará impulsado por una combinación de sectores tradicionales, como la minería y la agroindustria, junto con nuevos polos de desarrollo en energías renovables, tecnología y bioeconomía. Sin embargo, este dinamismo productivo está estrechamente ligado a la disponibilidad de agua, lo que obliga a repensar el modelo de gestión hídrica para garantizar la sostenibilidad del recurso en un contexto de estrés hídrico creciente.

La minería sigue siendo un pilar clave de la economía chilena, pero enfrenta el desafío de optimizar el uso del agua en sus procesos. La explotación del litio en el Salar de Atacama, en la Región de Antofagasta, ha cobrado una relevancia sin precedentes debido a la creciente demanda de baterías para la electromovilidad global. Sin embargo, el método tradicional de extracción, basado en la evaporación de salmuera, conlleva un alto consumo de agua y puede afectar los ecosistemas circundantes. La implementación de tecnologías de extracción directa de litio surge como una alternativa viable, reduciendo el consumo de agua en un 70% y aumentando la eficiencia del proceso. En paralelo, el hidrógeno verde se posiciona como una industria emergente con un enorme potencial en la Región de Magallanes y Antofagasta, donde el uso de electrólisis del agua para la producción de hidrógeno requerirá grandes volúmenes del recurso. La expansión de plantas desalinizadoras en el norte del país será clave para garantizar la viabilidad de este sector sin comprometer el abastecimiento hídrico de las comunidades locales.

La agroindustria experimenta una transformación acelerada, con una creciente tecnificación del riego en las regiones de Coquimbo y O'Higgins. De acuerdo al análisis desarrollado para cada región, la implementación de sistemas de riego presurizados ha permitido reducir en un 40% el consumo de agua por hectárea en cultivos como la vid y los cítricos. Sin embargo, la sobreexplotación de acuíferos en el Valle del Limarí y el Valle del Huasco ha generado una disminución de los niveles freáticos. Ante este panorama, el desarrollo de programas de recarga de acuíferos mediante la infiltración controlada de agua en la Región del Maule se presenta como una medida urgente para revertir esta tendencia y asegurar la disponibilidad de agua en el largo plazo. La diversificación de cultivos es otro eje estratégico en la adaptación al cambio climático, promoviendo el cultivo de quinoa y legumbres en la zona semiárida de Coquimbo, debido a su menor requerimiento hídrico en comparación con frutales tradicionales.

El auge de las energías renovables ha impulsado el desarrollo de proyectos de gran escala en el Desierto de Atacama, consolidando a Chile como un referente en la generación solar. En paralelo, el desarrollo de biocombustibles a partir de algas marinas en la Región de Los Lagos representa una oportunidad para diversificar la matriz energética sin incrementar la demanda de agua en sectores críticos. La expansión de la silvicultura sostenible en La Araucanía y Biobío también juega un rol clave en la mitigación de los efectos del cambio climático, mejorando la capacidad de los suelos para retener humedad y reducir la erosión.

El avance de la industria 4.0 ha traído consigo una mayor digitalización de los procesos productivos, con aplicaciones directas en la optimización del recurso hídrico. En la minería, el uso de inteligencia artificial y sensores en tiempo real ha permitido detectar fugas y optimizar el consumo de agua en las faenas extractivas. En la agricultura, se espera que el monitoreo de calidad de agua y la agricultura de precisión minimice la contaminación de fuentes hídricas. En el sector sanitario, la implementación de sistemas de gestión inteligente de redes de agua potable en Santiago y Valparaíso pueden lograr disminuir en un 30% las pérdidas por fugas, mejorando la eficiencia en la distribución del recurso.

A medida que la demanda hídrica aumenta, la infraestructura hídrica del país requiere una modernización sustancial. La construcción de embalses multipropósito en regiones críticas es una de las estrategias prioritarias para garantizar la seguridad hídrica. En la Región de Arica y Parinacota, el embalse Chironta contribuirá a mejorar la disponibilidad de agua en el Valle de Azapa, una de las principales zonas productoras de hortalizas del país. La expansión de plantas desalinizadoras en Antofagasta, Tarapacá y Coquimbo se perfila como una solución clave para reducir la presión sobre fuentes hídricas continentales, aunque su implementación debe ir acompañada de un uso eficiente de la energía para minimizar los costos operativos.

El uso eficiente del agua en el ámbito urbano también requiere medidas concretas para reducir el consumo per cápita y mejorar la resiliencia del sistema. La implementación de normativas que exijan la recolección y reutilización de aguas lluvia en nuevas construcciones en la Región Metropolitana y Valparaíso permitiría reducir la demanda de agua potable en áreas urbanas densamente pobladas. En paralelo, los incentivos para el uso de sanitarios y electrodomésticos de bajo consumo podrían generar ahorros significativos en el largo plazo. En la industria, la modernización de los sistemas de enfriamiento en las plantas de producción reduciría la necesidad de agua en procesos industriales, favoreciendo la implementación de tecnologías de circuito cerrado.

Las soluciones basadas en la naturaleza han cobrado una relevancia creciente en la planificación hídrica, reconociendo el rol de los ecosistemas en la regulación de los ciclos del agua. La restauración de humedales urbanos en Santiago y Concepción se plantea como una estrategia para mejorar la capacidad de infiltración de agua y reducir el riesgo de inundaciones. La conservación de bosques en la cuenca del Río Biobío es fundamental para mantener el equilibrio hídrico en una de las principales fuentes de abastecimiento de la zona centro-sur. La reforestación con especies nativas en la Región de La Araucanía contribuiría a mejorar la retención de humedad en los suelos y reducir la erosión en áreas de alta pendiente.

La adopción de tecnologías emergentes también será determinante en la gestión hídrica de Chile. La biotecnología aplicada a la regeneración del agua, mediante el uso de bacterias modificadas genéticamente para la descontaminación de aguas residuales, se perfila como una innovación con alto potencial. En el ámbito de la desalinización, las membranas de óxido de grafeno han demostrado una eficiencia superior en la filtración de sales, reduciendo en un 50% el consumo energético del proceso. La inteligencia artificial y el Big Data seguirán revolucionando la gestión del recurso hídrico, con el desarrollo de sensores de Internet de las Cosas (IoT) para detectar fugas en redes de distribución y optimizar la planificación del riego en la agricultura.

A medida que Chile avanza hacia un modelo de desarrollo más sostenible, la gestión eficiente del agua se convierte en un pilar fundamental para garantizar la resiliencia del país frente al cambio climático. La combinación de infraestructura moderna, eficiencia en el uso del recurso y adopción de tecnologías innovadoras permitirá consolidar un sistema hídrico que no solo asegure el abastecimiento de agua para las generaciones futuras, sino que también impulse la competitividad de los sectores productivos en un entorno de creciente incertidumbre climática.

CAPÍTULO 7 CARTERA DE INVERSIÓN Y PROPUESTAS DE GESTIÓN Y POLÍTICA PÚBLICA

7.1 PROPUESTAS DE MEDIDAS DE GESTIÓN HABILITANTES INCLUIDAS EN LA CARTERA DE PROYECTOS

En base a las brechas de infraestructura planteadas en el capítulo 5 se confeccionó una cartera de inversiones con el fin de abordar los nuevos desafíos hídricos del país. Para ello, se formularon Iniciativas Estratégicas (IE). Estas buscan abordar las diversas deficiencias y requerimientos detectados en las brechas mencionadas, agrupándolos en temáticas similares.

Por otra parte, el Plan Nacional de Infraestructura Hídrica 2025 -2055 (DIRPLAN, 2024) definió como primera aproximación un monto anual a nivel nacional de M\$550.000.000 posibles a destinar a infraestructura hídrica para efectos de priorización del periodo 2025-2035.

El presupuesto anual disponible por región, se definió considerando los montos totales estimados para cada una de las carteras de inversiones regionales, en función de las brechas de infraestructura hídrica identificadas. Se consideró también un porcentaje mínimo por región de 4%. En la Tabla 7.1-1 se presentan los valores totales de las carteras de inversión por región, el porcentaje correspondiente a la suma total de las carteras y el porcentaje ajustado. Con este último se distribuyen los M\$550.000.000 anuales en función de los requerimientos de infraestructura.

Tabla 7.1-1 Presupuesto anual disponible por región

Región	Total Cartera de Inversión (M\$)	Porcentaje respecto a la suma de las carteras a nivel nacional	Porcentaje Ajustado. Mínimo 4%.	Total Presupuesto Anual Disponible (M\$)
AYP	361.120.037	2,1%	4,0%	22.000.000
TAR	403.661.675	2,3%	4,0%	22.000.000
ANT	575.665.079	3,3%	4,0%	22.000.000
ATA	538.554.994	3,1%	4,0%	22.000.000
COQ	2.042.279.235	11,6%	10,0%	55.000.000
VAL	2.539.373.930	14,5%	10,0%	55.000.000
RM	1.416.868.141	8,1%	6,5%	35.750.000
OHI	981.835.198	5,6%	6,0%	33.000.000
MAU	1.716.409.572	9,8%	11,0%	60.500.000
ÑUB	1.204.273.165	6,9%	6,0%	33.000.000
BIO	836.905.965	4,8%	5,0%	27.500.000
ARA	2.547.151.018	14,5%	11,0%	60.500.000
RIO	753.881.771	4,3%	4,5%	24.750.000
LAG	1.134.704.380	6,5%	6,0%	33.000.000
AYS	274.275.740	1,6%	4,0%	22.000.000
MAG	234.303.755	1,3%	4,0%	22.000.000

Fuente: Elaboración propia.

EL monto destinado al ítem de “conservación” en cada región fue estimado de acuerdo a la información histórica del MOP en el periodo 2019-2023 (post pandemia) y lo programado en el Quinquenal 2024-2028. Los resultados se presentan en la Tabla 7.1-2.

Tabla 7.1-2 Conservación anual por región

Región	Conservación anual (M\$)
AYP	7.000.000
TAR	8.000.000
ANT	9.000.000
ATA	5.000.000
COQ	9.000.000
VAL	12.000.000
RM	10.000.000
OHI	5.000.000
MAU	8.000.000
ÑUB	8.000.000
BIO	8.000.000
ARA	8.000.000
RIO	4.000.000
LAG	4.000.000
AYS	6.000.000

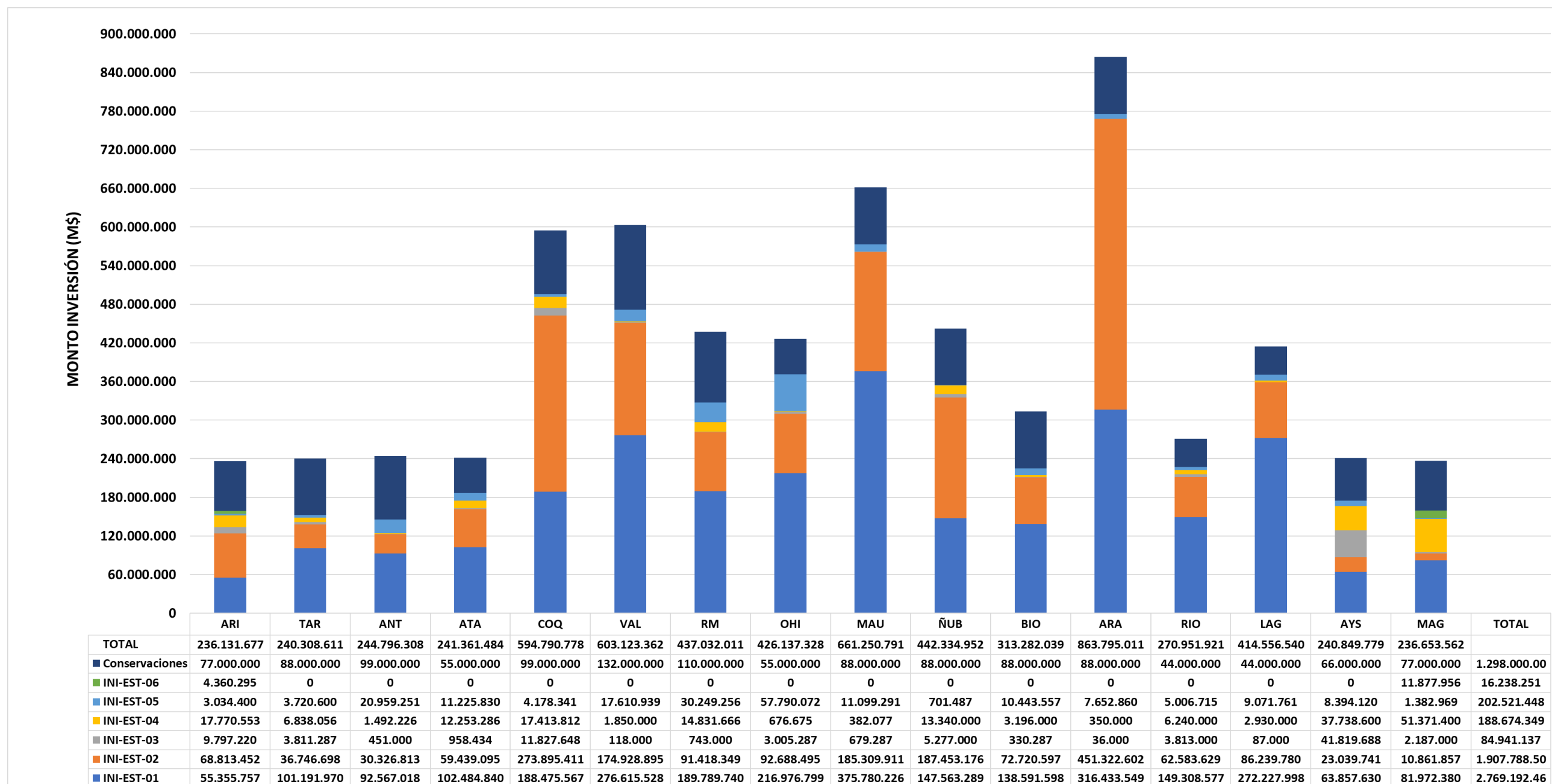
Región	Conservación anual (M\$)
MAG	2.000.000

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidas las inversiones se propuso un programa de ejecución a 10 años en función de la priorización de los aspectos más relevantes a nivel país y región.

En la Figura 7.1-1 se presentan los montos totales de las Iniciativas Estratégicas generales por región, esto es sin considerar las diferencias en los énfasis que cada región les otorga a dichas Iniciativas Estratégicas.

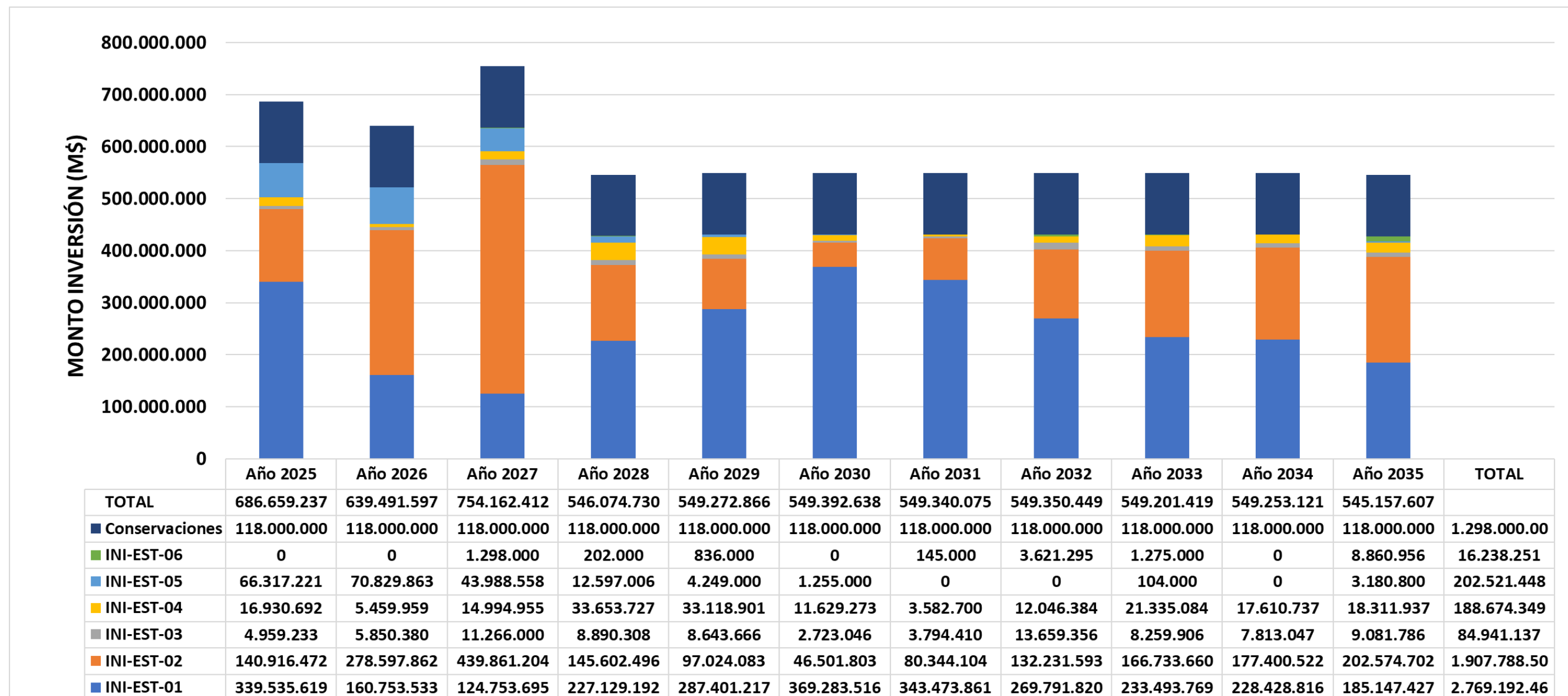
Por otro lado, en la Figura 7.1-2 se presentan los montos de las Iniciativas Estratégica a nivel anual, considerando un horizonte de 10 años.



Código Iniciativa Estratégica	Iniciativas Estratégicas
INI-EST-01	Ampliación, conservación y mejoramiento operacional y tecnológico de SSR en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas
INI-EST-02	Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego
INI-EST-03	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas
INI-EST-04	Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza
INI-EST-05	Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población
INI-EST-06	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral de cuencas transnacionales

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.1-1 Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica por región priorizadas en los primeros 10 años



Código Iniciativa Estratégica	Iniciativas Estratégicas
INI-EST-01	Ampliación, conservación y mejoramiento operacional y tecnológico de SSR en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas
INI-EST-02	Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego
INI-EST-03	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas
INI-EST-04	Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza
INI-EST-05	Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población
INI-EST-06	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral de cuencas transnacionales

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.1-2 Cartera de inversión por tipo de iniciativa estratégica en los primeros 10 años

Con respecto a la Figura 7.1-1 se puede observar un aumento considerable dentro del presupuesto anual de la región de la Araucanía. Esto se debe principalmente a la priorización de término de iniciativas provenientes del Quinquenal 2025-2030 dentro de los primeros años de planificación de la cartera, lo que alcanza un valor de 73 millones de pesos adicionales para el año 2026 y 130 millones de pesos adicionales para el 2027.

Con respecto a la Figura 7.1-2 se observa un aumento en el gasto de inversión anual en los tres primeros años, lo cual refleja la priorización de las iniciativas provenientes del Quinquenal desde el año 2028 se mantiene una inversión anual constante de 550 mil millones de pesos.

Por otra parte, cabe destacar que, para la correcta implementación de las iniciativas estructurales en cartera, también se incluyen medidas habilitantes. Estas medidas habilitantes son esenciales para asegurar una gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos, mejorar la resiliencia ante el cambio climático y garantizar el acceso al agua para las generaciones futuras. En este sentido, se presenta en la Tabla 7.1-3 las iniciativas asociadas a medidas de gestión habilitantes. En el Anexo E se encuentra mayor información.

Tabla 7.1-3 Iniciativas asociadas a medidas de gestión habilitantes en cartera

COD INI	Nombre de iniciativa de inversión
NE-4-01	Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en la Cuenca
NE-4-01	Estudio de Sistemas de Telemetría
NE-4-03	Estudio de Disponibilidad de Alternativas de Recursos Hídricos
NE-4-04	Nuevas tecnologías para el consumo eficiente
NE-2-03	Medida de gestión: Programa de reforzamiento de OUA
NE-4-02	Programas de apoyo a regularización DAA y OUAS
NE-2-02	Medida de gestión: Programas de Capacitación y Seguimiento
NE-4-02	Diagnóstico de Recursos Hídricos y Demanda de Riego
NE-4-05	Estudio de Disponibilidad de Alternativas de Recursos Hídricos
NE-4-05	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral de la Cuenca
NE-2-01	Medida de gestión: Seminarios y talleres
NE-2-02	Medida de gestión: Programas de Capacitación y Seguimiento
NE-3-02	Estudio de Erosión y arrastre de sedimentos y sus efectos ambientales, económicos y sociales en el territorio
NE-3-01	Estudio Definición de franjas de restricción y Prohibición por riesgo de inundación, erosión u otro
NE-3-03	Estudio de Reforestación y forestación de cuencas en sectores con riesgo de erosión
NE-3-02	Manejo de normas ambientales e hídricas, Reservas de agua, Planes y políticas
ES-4-01	Plan de Manejo de Cauce
ES-5-01	Plan Maestro de Aguas Lluvias o Actualización
NE-3-01	Definición de franjas de restricción y Prohibición por riesgo de inundación, erosión u otro
NE-3-02	Elaboración Estudio de erosión y arrastre de sedimentos a nivel de cuenca periurbana y sus efectos ambientales, económicos y sociales en el territorio

7.2 PROPUESTA DE GESTIÓN Y POLÍTICA PÚBLICA

En el marco de los aspectos descritos en el apartado 4.3 sobre gobernanza e institucionalidad, se plantea, desde la gestión y la política pública, una cartera de proyectos de inversión orientados a abordar los nuevos desafíos hídricos del país.

A partir de la última modificación al Código de Aguas y el reconocimiento de las aguas como un bien de uso público, cuyo aprovechamiento productivo debe ser sostenible, priorizando tanto el consumo humano como la preservación de los ecosistemas (Alvarez-Garretón C. , et al., 2023), se propone dentro de los objetivos nacionales el garantizar el acceso universal a los servicios de infraestructura básica. Esto incluye el derecho humano al agua, a través de servicios de agua potable y saneamiento que sean suficientes, seguros, aceptables, accesibles y asequibles para toda la población.

Como parte de la visión objetivo planteada en cada una de las regiones, se identifica de modo general una integración progresiva y coherente de la infraestructura hídrica, buscando asegurar una gestión eficiente y sostenible del recurso, con el fin de optimizar su uso y preservar su disponibilidad para el desarrollo de las comunidades, impulsando un modelo de gestión que se adapte a las necesidades y particularidades de cada región, promoviendo la cooperación y la innovación en el manejo del agua a lo largo de todo el territorio.

A modo de ejemplo, en la zona norte, la región de Antofagasta menciona: *“...cuenta con un manejo eficiente y sostenible del recurso hídrico, que permite abastecer a la población y a las distintas actividades productivas que se desarrollan en los territorios, con una adecuada cobertura de servicios básicos en las áreas rurales, aisladas y rezagadas ...”*.

En la zona sur, la región de La Araucanía indica que *“[...]El recurso hídrico se planifica en forma estratégica y sostenible para garantizar y asegurar la disponibilidad del agua para el consumo humano y el desarrollo de actividades productivas silvoagropecuarias, enfrentando el déficit hídrico y fortaleciendo la adaptación a los efectos del cambio climático.” Y que gestiona eficientemente”*.

Bajo este aspecto, es fundamental además resaltar la importancia de los objetivos enfocados en garantizar la cobertura del recurso hídrico en las zonas rurales semi-concentradas y dispersas, con el fin de asegurar un acceso universal al agua y a la infraestructura hídrica. Este enfoque se aborda específicamente dentro de la dimensión de seguridad hídrica, que se define como el "Derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia".

En este sentido la región de Arica y Parinacota indica entre sus objetivos específicos¹⁵ la planificación y construcción de infraestructura integrada básica, la ampliación de la red de alcantarillado, y la gestión eficiente de los recursos hídricos para mejorar la calidad de vida, promover la equidad social e igualdad de oportunidades; la región de Coquimbo, menciona la implementación de servicios de infraestructura y gestión hídrica para consumo humano, saneamiento, salud y subsistencia en todas las comunidades, con un enfoque especial en aquellas situadas en zonas marginales o de difícil acceso, tanto en áreas urbanas como rurales.

En la zona centro, la región de Valparaíso indica la implementación de políticas públicas para asegurar la disponibilidad en zonas con menor acceso, priorizando el consumo humano y saneamiento; en la zona sur, la región del Biobío, propone identificar y mejorar los sistemas de abastecimiento hídrico en zonas vulnerables a través de un diagnóstico exhaustivo de los sistemas de Agua Potable Rural (APR) para optimizar su operación y mantenimiento. Por último, en la zona austral, la región de Los Lagos busca promover la investigación e identificación de recursos hídricos nuevos y existentes para la gestión y uso eficiente, sostenible y asequible del agua, garantizando la calidad para diversas aplicaciones. Se busca también mejorar la calidad, la sostenibilidad a largo plazo y la administración de los servicios básicos en zonas rurales.

Otro aspecto relevante señalado por el Banco Mundial (2021), es la importancia de las leyes y normativas que influyen en la planificación de los requerimientos de infraestructura hídrica. Estas regulaciones, orientadas a promover la resiliencia, buscan garantizar un uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos, teniendo en cuenta los impactos e incertidumbres derivados del cambio climático.

En este contexto destacan a nivel regional los objetivos específicos relacionados a la dimensión de Conservación y Preservación de los Ecosistemas, donde en la región de Antofagasta indica como parte de sus objetivos fortalecer la seguridad hídrica mediante un modelo de gobernanza colaborativa entre el sector público, privado y la ciudadanía. Este modelo se basará en la generación de información hídrica robusta y accesible, que permita una gestión integrada y eficiente de los recursos hídricos. Por su parte, la región Metropolitana destaca evaluar los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de intervenciones territoriales, e integrar este componente en políticas sectoriales específicas, normatividad y planes especiales, generando conciencia sobre su valor y la necesidad de protección, restauración, reparación y remediación.

En la zona sur, la región de Los Ríos menciona entre sus objetivos, valorar los sistemas naturales como soporte fundamental en la planificación y diseño de intervenciones

¹⁵ Los objetivos específicos de cada región se encuentran en su respectivo Anexo 05 denominado Brechas.

territoriales, e integrar este componente en políticas sectoriales específicas, normativas y planes especiales de bordes costeros, lacustres y fluviales, cauces y humedales, para visibilizar su valor y la necesidad de protección, restauración, reparación y remediación de estos sistemas. Por último, en la zona austral se indica, desarrollar un plan de utilización de recursos compartidos con Argentina para mejorar los procesos administrativos relacionados con su gestión. Identificar los humedales de uso agropecuario para establecer una regularización en su uso y mejorar el estado hídrico y ambiental.

Por otra parte, en aspectos de planificación estratégica y con la finalidad de lograr los desafíos propuestos en Chile (Billi, et al., 2021; Stehr, et al., 2019; Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015; Alvarez-Garretón C. , et al., 2023; Banco Mundial, 2021) destaca entre los objetivos específicos de la región de Tarapacá el fortalecer los modelos de gobernanza colaborativa, como también la gestión y distribución de la información hídrica a través de mejoras en la cobertura, sistemas y métodos de medición... Esto mediante una planificación informada que contemple un conocimiento detallado del funcionamiento de los sistemas hídricos y de la demanda ambiental en la región, promoviendo el monitoreo continuo de los acuíferos y la realización de estudios que garanticen la preservación y salud de los ecosistemas locales.

En el caso de la zona centro, como ejemplo de los desafíos de propuestos en los objetivos regionales específicos la región del Libertador Bernardo O'Higgins menciona el establecimiento de un marco normativo y planificación que garantice la protección del medio ambiente... Realizar investigaciones sobre la calidad y uso del suelo para informar prácticas agrícolas sostenibles y promover una gestión territorial eficaz de los derechos de aprovechamiento del agua. La región de Ñuble menciona el perfeccionamiento de la gestión de los recursos hídricos mediante metodologías de gobernanza de cuencas y coordinación público-privada; fortalecer la organización de usuarios y la creación de capacidades; y desarrollar incentivos y programas de financiamiento para fomentar la inversión en investigación aplicada, desarrollo e innovación.

En la zona Austral, la región de Los Lagos, entre sus objetivos menciona la generación de información hídrica robusta y accesible, que permita una gestión integrada y eficiente de los recursos hídricos. Para ello, se propone optimizar la red de monitoreo hidrometeorológico, incorporando nuevas estaciones de medición de caudales, niveles freáticos y calidad de agua... y profundizar el conocimiento hidrogeológico de las cuencas, incluyendo la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, la dinámica de recarga y descarga, y la caracterización de acuíferos que sustentan ecosistemas sensibles como Sistemas Vegetacionales Azonales Hídrico Terrestres (SVAHTs).

Según la CEPAL (2018) el desarrollo económico productivo en Chile está influenciado por factores geográficos, económicos, sociales, políticos y tecnológicos. En algunos períodos, los componentes de agua, energía y alimentos se desarrollan de manera independiente, en otros se perciben como competidores en conflicto, y en ciertos momentos existen sinergias que favorecen su interacción. En este sentido, dentro de los objetivos específicos regionales, se propone en la región de Coquimbo diversificar la matriz hídrica para extender las alternativas multisectoriales de nuevas fuentes de agua, destacando sectores estratégicos como el minero, agroindustrial y de energía verde. Promover el dinamismo económico local a través de la gestión integrada de cuencas hidrográficas, un uso eficiente y sostenible del recurso hídrico, garantizando la disponibilidad de agua en zonas de escasez. La región de Antofagasta menciona en este aspecto, impulsar el desarrollo económico sostenible de la región en sectores estratégicos como la minería y la agricultura, sin comprometer la disponibilidad de agua, especialmente en zonas de escasez. Además de la implementación de infraestructuras hídricas multipropósito, incluyendo sistemas de acumulación, como la construcción de estanques y la impermeabilización de tranques existentes, que permitan aprovechar fuentes de agua no convencionales, como la cosecha de aguas lluvias durante el invierno altiplánico

La región del Maule en la zona centro propone el fomento del riego tecnificado, la construcción y rehabilitación de tranques comunitarios, así como la actualización del catastro de canales. Además, se implementarán Planes Maestros para el mantenimiento de la infraestructura y se facilitará la capacitación en el uso del agua.

En la zona sur, la región de La Araucanía, en aspectos económicos productivos menciona el fortalecimiento de la infraestructura hídrica crítica para mejorar la competitividad y abordar los desafíos hídricos, en particular en la agricultura y la silvicultura, como también el aprovechamiento de los avances tecnológicos vinculados a los recursos naturales y al capital humano para promover servicios de infraestructura especializados para sectores económicos clave. Por último, en la región de Magallanes, se busca fomentar la habilitación de infraestructura social y productiva en diferentes centros poblados para potenciar nuevos polos de desarrollo, especialmente en el ámbito del turismo y otros sectores.

7.3 CAUDALES DE RESERVA

El caudal de reserva para protección ambiental tiene como finalidad poder mejorar o potenciar la calidad de los recursos naturales de un determinado ecosistema. Se ha determinado en aquellas estaciones de la red fluviométrica de la DGA cercanas y potencialmente representativas del flujo de agua mínimo asociado a áreas de conservación existentes en la cuenca.

La metodología utilizada para el cálculo del caudal de reserva para protección ambiental, se presenta en el acápite 2.1.10 del Anexo B y el detalle de los resultados de cada cuenca, se presenta en el acápite 2.2.10 de cada uno de los informes regionales.

La Tabla 7.3-1 presenta los caudales de reserva por región actuales y futuros al 2055.

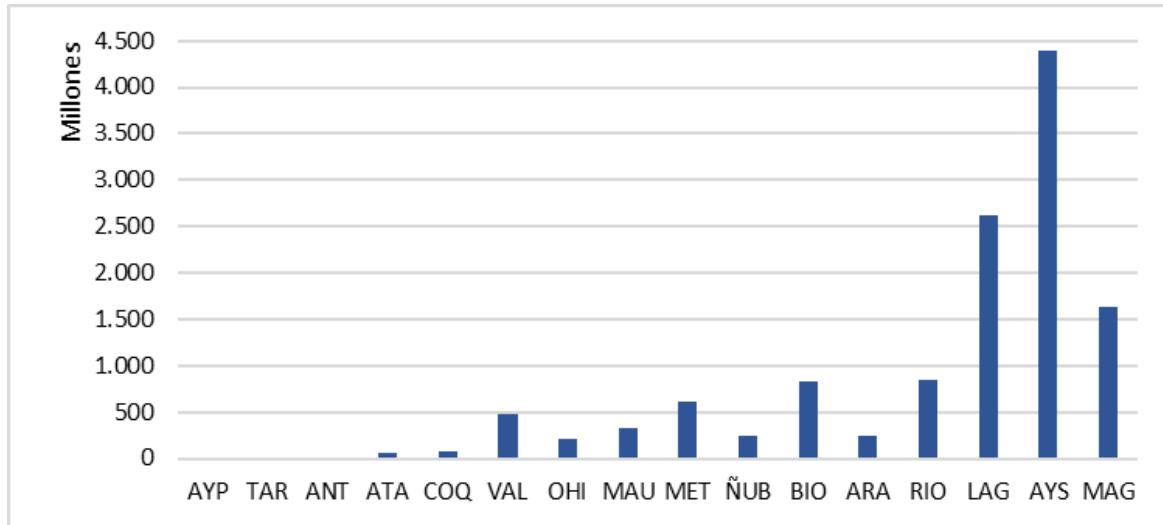
Tabla 7.3-1 Caudal de reserva para protección ambiental actual y futuro por región

Nombre región	2023	2055
Arica y Parinacota	32.801	32.801
Tarapacá	1.892	1.892
Antofagasta	59.989	59.989
Atacama	52.316.667	52.316.667
Coquimbo	79.841.667	79.841.667
Valparaíso	478.108.333	478.108.333
Libertador General Bernardo O'Higgins	216.666.667	216.666.667
Maule	330.408.333	330.408.333
Metropolitana	604.083.333	604.083.333
Ñuble	238.000.000	238.000.000
Biobío	822.916.667	822.916.667
Araucanía	244.833.333	244.833.333
Los Ríos	839.166.667	839.166.667
Los Lagos	2.627.583.333	2.627.583.333
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	4.396.416.667	4.396.416.667
Magallanes y de la Antártica Chilena	1.630.416.667	1.630.416.667

Fuente: Elaboración propia.

La demanda futura para protección ambiental (año 2055) corresponde como mínimo a los valores de caudales de reserva estimados para la situación actual (año 2023), ya que no se puede estimar una proyección futura de esta demanda según la metodología ocupada.

A continuación, se presenta la Figura 7.3-1 donde se presentan los caudales de reserva para protección ambiental.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.3-1 Caudales de reserva totales por región

No obstante lo anterior, la determinación del caudal de reserva para protección ambiental enfrenta importantes brechas metodológicas y de información que limitan su implementación efectiva en la gestión de los recursos hídricos. Actualmente, su estimación se realiza en función de las estaciones fluviométricas cercanas a las áreas de conservación, lo que restringe su especificidad a nivel de cuenca, ya que la representatividad de la información fluviométrica puede ser limitada. Además, la falta de actualización y cobertura de datos, impide contar con series temporales robustas para la determinación de los caudales mínimos requeridos para la preservación de los ecosistemas acuáticos. Por otra parte, su cálculo se basa únicamente en áreas protegidas formalmente reconocidas, por lo que no considera la diversidad de ecosistemas hídricos existentes, segregando y poniendo en riesgo a ecosistemas que no se encuentran resguardados.

Adicionalmente, esta metodología impide abordar el cálculo desde un enfoque integral, dado que no contempla las condiciones hidrológicas y ecosistémicas de cada cuenca. Su enfoque se basa en la aplicación de criterios generales, como el porcentaje de caudal medio anual o las probabilidades de excedencia, lo que impide el análisis detallado de las necesidades específicas de cada ecosistema. La desactualización y/o ausencia de metodologías estandarizadas o guías técnicas que orienten el cálculo del caudal ecológico, dificultan la integración de esta demanda en la planificación territorial y en la asignación de los recursos hídricos. La ausencia de criterios técnicos unificados genera incertidumbre en la aplicación del caudal ecológico, lo que puede comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas e incrementar la presión sobre los recursos hídricos en un escenario de escasez hídrica y cambio climático. Por otra parte, el marco normativo actual no incorpora aspectos clave para la conservación, como la gestión del uso del cauce, la preservación de riberas y la vegetación ribereña, lo que puede comprometer la

efectividad de la protección ambiental, incluso si se cumplen los caudales ecológicos mínimos establecidos.

Para abordar estas brechas y avanzar hacia una gestión sostenible de los recursos hídrico, es necesario desarrollar una política pública integral que fortalezca y amplie el monitoreo, estandarice metodologías fortalecer y extienda la cobertura de la red de protección ambiental a zonas actualmente excluidas. Asimismo, es necesario integrar medidas de conservación complementarias que permitan garantizar los caudales de reserva, la conservación de riberas y la regulación del uso de los cauces. Finalmente, se debe integrar el caudal de reserva en la planificación territorial y en la asignación de los derechos de agua, para avanzar hacia una gestión integrada de cuencas.

CAPÍTULO 8 PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

8.1 SEGURIDAD HÍDRICA NACIONAL: ESTADO DEL ARTE

Chile presenta una notable diversidad geográfica, con una fuerte inclinación hacia actividades productivas como la agricultura y la minería, abarcando tanto realidades rurales, como urbanas. Esta variedad conlleva desafíos específicos en la gestión de los recursos hídricos, que son fundamentales para el bienestar de las comunidades y el desarrollo económico del país. A continuación, se presentan los desafíos y riesgos que presentan las distintas macrozonas del país.

8.1.1 Macrozona Norte: Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo.

En la macrozona norte destacan las cuencas Río San José (BNA 013), Costeras entre R. San José – Q. Camarones (BNA 014), Pampa Del Tamarugal (BNA 017), Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018), Río Loa (BNA 021), Costeras R. Loa – Q. Caracoles (BNA 022), Q. Caracoles (BNA 027), Río Copiapó (BNA 034), Río Huasco (BNA 038), Costeras entre R. Elqui – R. Limarí (BNA 044), Río Limarí (BNA 045), Río Choapa (BNA 047), como las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica de la macrozona. Las demandas consuntivas de la zona norte para el año 2023 se distribuyen de acuerdo a la Figura 8.1-1. El sector agrícola presenta la mayor demanda, seguido por minería. Se proyectan aumentos tendenciales en las demandas consuntivas hacia el año 2055 que van desde un 17% a un 57%. Este incremento se encuentra principalmente atribuido a la expansión agrícola¹⁶, y a la baja eficiencia en el riego, que oscila entre un 54% y 69%. El aumento en las demandas genera una presión significativa en las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica. En particular, la región de Antofagasta representa una excepción, con una proyección de disminución del 15% en la demanda hídrica, atribuida a una reducción significativa de la demanda agrícola en un 75% y una disminución del 19% en el sector minero.

¹⁶ Asociado a un aumento de la demanda hídrica de viñas, parronales, praderas mejoradas, forrajeras permanentes y frutales, debido principalmente a la expansión de la superficie de estos cultivos y al incremento de las tasas de evapotranspiración de los cultivos, en base a Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021).

De manera simultánea, se espera una reducción generalizada de los caudales en las cuencas de la macrozona Norte, con descensos que oscilan entre un 14% y un 44%, con excepción de Antofagasta, que muestra incrementos que alcanzan un 61%. En la Tabla 8.1-1 se presenta el balance hídrico unificado para las cuencas que cuentan con déficit hídrico estructural y estrés hídrico. Se evidencia que, cuencas como Quebrada de la Concordia (BNA 011), Costeras Tilviche – R. Loa (BNA 018) y Quebrada Caracoles (BNA 027), presentan déficit hídrico estructural. Este déficit hídrico se debe a que la demanda supera la oferta disponible con un 50% de probabilidad de excedencia, junto con restricciones en al menos una de sus fuentes, situación que la vuelve especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. Entre los desafíos de Seguridad Hídrica (SH)¹⁷ para la zona norte, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En las zonas urbanas, las pérdidas de los sistemas de distribución oscilan entre un 30% y 36%, donde la región de Coquimbo presenta los niveles más altos de pérdidas. En las áreas rurales, entre el 14% y 43% de las viviendas no tienen acceso a agua potable. La población rural con acceso a agua potable que carece de sistemas de alcantarillado oscila entre 6% y 55%. En cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua, la macrozona se encuentra en una situación compleja, con eficiencias de riego que promedian un 58%, lo que evidencia la necesidad implementar mejoras en este ámbito. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas Río Lluta (BNA 012), Río San José (BNA 013), Salar de Atacama (BNA 025), Río Copiapó (BNA 034), Río Huasco (BNA 038), Río Elqui (BNA 043), Río Limarí (BNA 045) y Río Choapa (BNA 047), ya que concentran más del 86% de la red de canales de la región, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que afecta la sostenibilidad agrícola de la macrozona. En particular, para la región de Coquimbo, los bajos niveles de almacenamiento de embalses evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que sólo se observan proyectos de uso de fuentes no convencionales para menos del 50% de las cuencas que componen la macrozona. Se observan limitaciones en torno a las OUs¹⁸, sólo se registra algún tipo de organización para 12 de las 34 cuencas que componen la macrozona.

La calidad del agua representa un problema crítico para la macrozona norte. Todas las cuencas con excepción de Quebrada Caracoles (BNA 027), presentan un deterioro significativo debido a altos niveles de contaminación por agroquímicos y aguas residuales. Además, se observan riesgos de contaminación por relaves en desuso y falta de información sobre monitoreo y calidad del agua. Además, se observa un bajo nivel de protección ecosistémica para la macrozona norte, donde más del 70% de las cuencas no alcanzan el 5%

¹⁷ Entendidos como las brechas o problemáticas relacionadas indirectamente a la disponibilidad de agua, las cuales dificultan el cumplimiento de los objetivos de SH.

¹⁸ OUs: Organizaciones de Usuarios de Agua, JV: Juntas de Vigilancia, CA: Comunidades de Aguas, AC: Asociaciones de Canalistas.

de protección de superficie de humedales, evidenciando la necesidad de implementar medidas de conservación más efectivas. Mas de un 61% de las cuencas de la macrozona presentan una alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes y a incrementos de superficies impermeables. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas.

8.1.2 Macrozona Centro: Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule

En la macrozona centro destacan las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Ligua (BNA 052), Río Petorca (BNA 051), Costeras entre R. Aconcagua – R. Maipo (BNA 055), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073), como las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica. Las demandas consuntivas de la zona centro para el año 2023 se distribuyen de acuerdo a la Figura 8.1-1. El sector agrícola presenta la mayor demanda, seguido por el uso para agua potable urbana y minería. Se proyectan aumentos tendenciales en las demandas consuntivas hacia el año 2055 que van desde un 10% a un 59%. Este incremento se encuentra principalmente atribuido a la expansión agrícola¹⁹, y a la baja eficiencia en el riego, donde la región del Maule cuenta con los valores más bajos (67% en promedio regional). El aumento en las demandas genera una presión significativa en las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica, en conjunto con las cuencas Costeras entre R. Maipo – R. Rapel (BNA 058), Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061), Costeras R. Mataquito – R. Maule (BNA 072) y Costeras R. Maule – Límite Región (BNA 074).

De manera simultánea, se espera una reducción generalizada de los caudales en las cuencas de la macrozona centro, siendo Río Aconcagua (BNA 054), Río Ligua (BNA 052), Río Petorca (BNA 051) y Río Maipo (BNA 057), las más afectadas, con descensos que oscilan entre un 11% y 22%. En la Tabla 8.1-1 se presenta el balance hídrico unificado para las cuencas que cuentan con déficit hídrico estructural y estrés hídrico. Se evidencia que, las cuencas Costeras R. Quilimarí – R. Petorca (BNA 050), Río Ligua (BNA 052) y Costeras entre R. Maipo – R. Rapel (BNA 058), presentan déficit hídrico estructural. Este déficit hídrico se debe a que la demanda supera la oferta disponible con un 50% de probabilidad de excedencia, junto con restricciones en sus fuentes subterráneas, situación que la vuelve especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. Entre los desafíos de SH para la zona centro, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En las zonas urbanas, si bien la cobertura varía entre un 94% y 96%, las pérdidas de los sistemas de distribución oscilan entre un 30% y 44%, donde la región de O'Higgins presenta los niveles más altos de pérdidas. Las proyecciones de aumento de población en la macrozona

¹⁹ Asociado a un aumento de la demanda hídrica de viñas, parronales y praderas mejoradas, debido principalmente a la expansión de la superficie de estos cultivos y al incremento de las tasas de evapotranspiración de los cultivos, en base a Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021).

configuran una situación de vulnerabilidad ante la garantía de la cobertura de agua potable. En las áreas rurales, entre el 10% y 37% de las viviendas no tienen acceso a agua potable. Se observan períodos de sobreexplotación de los recursos hídricos de hasta 34%. Por otra parte, la población rural con acceso a agua potable que carece de sistemas de alcantarillado oscila entre 38% y 53%, afectando en gran parte a la región de O'Higgins y Maule. En cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua, la macrozona se encuentra en una situación favorable, con eficiencias de riego varían entre el 53% y 86%, sin embargo, existen oportunidades que deben ser abordadas para disminuir brechas. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060) y Río Maule (BNA 073), ya que concentran más del 88% de la red de canales de la región, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que afecta la productividad y sostenibilidad agrícola de la macrozona. En particular, para Valparaíso y O'Higgins, se proyectan aumentos en la demanda manufacturera y minera, lo que sitúa a las regiones en una situación de riesgo. Los bajos niveles de almacenamiento de embalses de la macrozona evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que solo se observan proyectos para uso de fuentes no convencionales en las cuencas Río Aconcagua (BNA 054), Río Rapel (BNA 060), Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061), Costeras entre Límite Región – R. Mataquito (BNA 070) y Río Mataquito (BNA 071). Se observan limitaciones en torno a las OUAs para la región Metropolitana y Maule, ya que sólo se registra algún tipo de organización en las cuencas Río Maipo (BNA 057), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073).

La calidad del agua representa un problema crítico para la región Metropolitana, O'Higgins y Maule. Las cuencas Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Costeras R. Maule – Límite Región (BNA 074), presentan altos niveles de contaminación por agroquímicos (concentraciones de nitratos mayor al límite permitido), debido a la intensa actividad agrícola y ganadera en la macrozona centro. Por otra parte, se observa un gran deterioro de la calidad de agua en todas las cuencas de la macrozona centro, atribuido a descargas de aguas servidas (cobertura de alcantarillado menor al 70%) y a la carencia de tratamiento de aguas residuales. Además, se observan riesgos de contaminación por relaves abandonados y grandes presiones a los recursos hídricos en la región Metropolitana, O'Higgins y Maule. Se observa un cambio significativo en el uso de suelo en las cuencas Río Rapel (BNA 060), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073), lo que pone en riesgos ecosistemas cercanos, como humedales, que han sufrido alteraciones debido a la expansión agrícola y ganadera. Por su parte, la capacidad natural de los ecosistemas de la región de Valparaíso se encuentra en una situación crítica. Además, se observa un bajo nivel de protección ecosistémica para la macrozona centro, especialmente en las cuencas Costeras R. Quilimarí – R. Petorca (BNA 050), Río Petorca (BNA 051), Río Ligua (BNA 052), Costeras R. Ligua – R.

Aconcagua (BNA 053), Río Aconcagua (BNA 054), Río Maipo (BNA 057), Río Rapel (BNA 060), Costeras R. Rapel – E. Nilahue (BNA 061), Río Mataquito (BNA 071) y Río Maule (BNA 073), que no alcanzan el 5% de protección de superficie de humedales, evidenciando la necesidad de implementar medidas de conservación más efectivas. Mas de un 73% de las cuencas de la macrozona centro presentan una alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes y a incrementos de superficies impermeables. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas.

8.1.3 Macrozona Sur: Ñuble, Biobío, Araucanía y Los Ríos

En la macrozona sur destacan las cuencas Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083), Río Imperial (BNA 091), Río Toltén (BNA 094), Río Valdivia (BNA 101) y Río Bueno (BNA 103), como las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica. Las demandas consuntivas de la zona sur para el año 2023 se distribuyen de acuerdo a la Figura 8.1-1. El sector agrícola presenta la mayor demanda, seguido en algunos casos por el sector industrial y energético. Se proyectan aumentos tendenciales en las demandas consuntivas hacia el año 2055 que van desde un 46% a un 89%, entre las regiones que componen esta zona. Este incremento se encuentra principalmente atribuido a la expansión agrícola²⁰ y a la baja eficiencia en el riego, con valores que oscilan entre un 63% y 69%. Para la región de Biobío y Los Ríos, el aumento en las demandas también se encuentra asociado al crecimiento del sector industrial manufacturero. Lo anterior genera una presión significativa en las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica, en conjunto con las cuencas Costeras e Islas entre R. Biobío – R. Carampangue (084), Costeras entre R. Budi – R. Toltén (BNA 093) y Costeras entre Límite Región – R. Valdivia (BNA 100).

De manera simultánea, se espera una reducción generalizada de los caudales en todas las cuencas de la zona sur, siendo las regiones de Ñuble y Biobío las más afectadas. En la Tabla 8.1-1 se presenta el balance hídrico unificado para las cuencas que cuentan con déficit hídrico estructural y estrés hídrico. Se evidencia que, la cuenca Río Bueno (BNA 103) presenta déficit hídrico estructural. Este déficit hídrico se caracteriza por una demanda que no supera la oferta disponible con un 85% de probabilidad de excedencia, junto con restricciones en sus fuentes superficiales y subterráneas, situación que la vuelve especialmente vulnerable a los efectos del cambio climático. Entre los desafíos de SH para la zona sur, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones. En Araucanía y Los Ríos, los servicios de agua potable rural presentan mayores desafíos, entre un 10% y 44% de las viviendas no tienen acceso a agua potable y un 56% de

²⁰ Asociado a un aumento de la demanda hídrica de viñas y parronales, debido principalmente a la expansión de la superficie de estos cultivos y al incremento de las tasas de evapotranspiración de los cultivos, en base a Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021). Para la región de Biobío, también se encuentra asociado a cultivos de cereales, leguminosas, tubérculos, cultivos industriales y forrajeras anuales.

la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado. Para el caso de Ñuble, Biobío y la cuenca Río Valdivia (BNA 101), los sistemas de distribución registran pérdidas que alcanzan hasta un 40%. En cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua, Ñuble y Biobío se encuentran en una situación de moderada complejidad, con eficiencias de riego que varían entre un 44% y 69%. Las regiones de la Araucanía y Los Ríos presentan eficiencias de riego mayores, que alcanzan un 75%, sin embargo, existen oportunidades que deben ser abordadas para reducir las brechas. En particular, se observan grandes presiones para las cuencas del Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083), Río Imperial (BNA 091) y Río Valdivia (BNA 101), ya que concentran más del 95% de la red de canales de la macrozona, presentan deficiencias en sus sistemas de distribución, y se proyectan aumentos en la demanda hídrica, lo que dificulta la productividad agrícola e industrial de la zona. En particular, para la cuenca Río Toltén (BNA 094), se proyectan aumentos en la demanda manufacturera, lo que sitúa a la cuenca en una situación de riesgo. La macrozona sur enfrenta limitaciones significativas en la diversificación de la matriz hídrica. La escasa información acerca del volumen embalsado y la disminución en la oferta hídrica proyectada, evidencian la importancia de diversificar las fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito es insuficiente, ya que sólo se observan proyectos para uso de fuentes no convencionales para la mitad de las cuencas de la zona y en su mayoría corresponden a proyectos de menor escala. Se observan limitaciones en torno a las OUAs, sólo se registra un tipo de organización de usuarios de agua en las cuencas Río Itata (BNA 081), Río Biobío (BNA 083), Río Imperial (BNA 091) y Río Toltén (BNA 094). Para la región de Los Ríos no se observa ningún tipo de organización.

La calidad del agua representa un problema crítico para todas las cuencas de la macrozona sur, debido a la intensa actividad agrícola, las descargas de aguas servidas y los riesgos de contaminación por relaves y actividades industriales. Además, se observa un bajo nivel de monitoreo en todas las cuencas de la macrozona sur, con excepción de Río Itata (BNA 081) y Río Biobío (BNA 083). A su vez, la mayoría de las cuencas de la macrozona no superan el 5% de protección de sus superficies de humedales, evidenciando la necesidad urgente de implementar medidas de conservación más efectivas. Por otra parte, más del 63% de las cuencas de la macrozona presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones y aluviones, debido a sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes. La ausencia de planes de manejo y drenaje de aguas lluvias, acentúa la vulnerabilidad y agrava los impactos ante eventos de crecidas en la macrozona sur.

8.1.4 Macrozona Austral: Los Lagos, Aysén y Magallanes.

En la macrozona austral destacan las cuencas Río Bueno (BNA 103), Cuencas e Islas entre R. Bueno – R. Puelo (BNA 104), Islas Chiloé y Circundantes (BNA 109), Río Aysén (BNA 113), Río Baker (BNA 115), Costeras e islas entre R. Hollemberg – Laguna Blanca (BNA 124), Costeras entre Laguna Blanca, Seno Otway, Canal Jerónimo y E. Magallanes (BNA 125) y

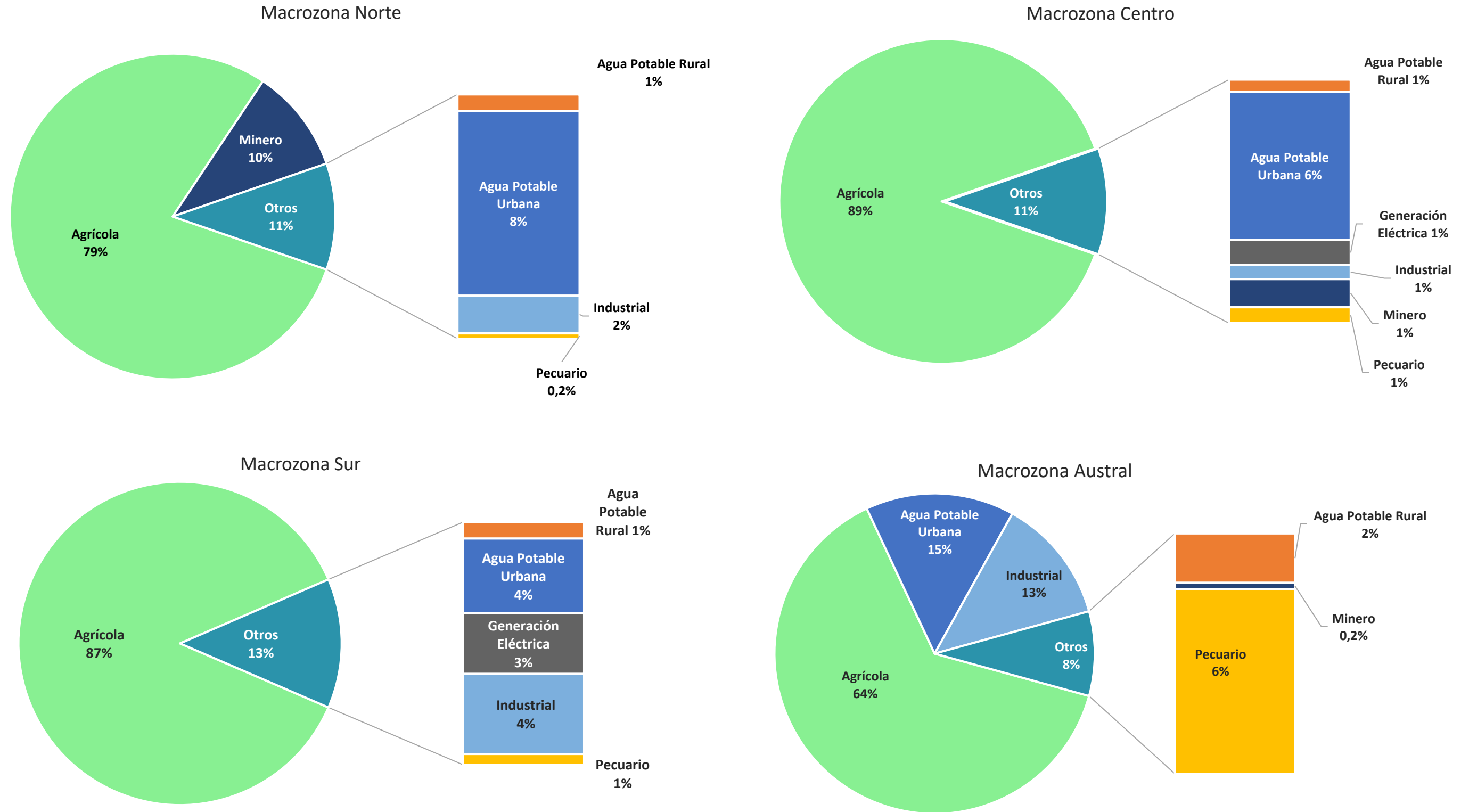
Vertiente Atlántico (BNA 126), como las cuencas que concentran la mayor demanda hídrica. Las demandas consuntivas de la zona austral para el año 2023 se distribuyen de acuerdo a la Figura 8.1-1. El sector agrícola presenta la mayor demanda para la macrozona, seguido por el uso industrial y agua potable urbana. Se proyectan aumentos tendenciales en las demandas consuntivas hacia el año 2055 que van desde un 97% a un 144%, entre las regiones que componen la macrozona. Este incremento responde, principalmente, a la expansión de la actividad agrícola²¹, la baja eficiencia en el riego y el crecimiento de la demanda industrial, lo que genera una presión considerable sobre las cuencas con mayor concentración de demanda hídrica.

De manera simultánea, se espera una reducción de los caudales en todas las cuencas de la macrozona, con descensos que oscilan entre un 2% y un 14%, excepto en la cuenca del Río Pascua (BNA 117), que muestra un incremento del 12%, y la cuenca Vertiente del Atlántico (BNA 126), con un aumento del 16%. El balance hídrico estructural (Tabla 8.1-1) evidencia que las cuencas Costeras entre Seno Andrew, Río Hollemberg e islas al oriente (BNA 122), Costeras entre Laguna Blanca, Seno Otway, Canal Jerónimo y Estrecho de Magallanes (BNA 125) y Tierra del Fuego (BNA 128), presentan estrés hídrico, caracterizado por una demanda que no supera la oferta disponible con un 85% de probabilidad de excedencia, junto con restricciones en sus fuentes superficiales o subterráneas, lo que las vuelve vulnerables a los efectos del cambio climático. En cuanto a los desafíos de SH para la macrozona, la sostenibilidad del suministro de agua potable enfrenta considerables presiones; en las zonas rurales entre un 17% y un 50% de las viviendas no tienen acceso a agua potable y hasta un 39% de la población rural con acceso a agua potable carece de sistemas de alcantarillado; mientras que, en las zonas urbanas, la situación es menos crítica, con pérdidas en los sistemas de distribución que alcanzan un 34%. En cuanto a la eficiencia y el uso sostenible del agua, la macrozona enfrenta una situación compleja. Las eficiencias de riego varían entre 35% y 72%, por lo que se requieren mejoras en este ámbito. Se observan grandes presiones en las cuencas Río Bueno (BNA 103), Río Baker (BNA 115), Costeras entre Seno Andrew, Río Hollemberg e islas al oriente (BNA 122) y Vertiente del Atlántico (BNA 126), ya que agrupan el 97% de la red de canales de la macrozona. Estas cuencas presentan deficiencias en sus sistemas de distribución y se proyectan aumentos en su demanda hídrica, lo que representa un desafío para la productividad de la macrozona. Se observan limitaciones en torno a las OUA, sólo se observa un tipo de organización para Aysén y Magallanes, en el caso de Los Lagos no se registra ninguna organización. Se observan restricciones significativas en la diversificación de la matriz hídrica, dado que se presentan disminuciones en la oferta hídrica superficial, con reducciones superiores al 10%, lo que afecta el llenado de embalases, poniendo en evidencia la necesidad de diversificar las

²¹ Asociado a un aumento de la demanda hídrica de viñas, parronales, praderas mejoradas y forrajeras permanentes, debido principalmente a la expansión de la superficie de estos cultivos y al incremento de las tasas de evapotranspiración de los cultivos, en base a Censos Agropecuarios de los años 1997, 2007 y 2021 (INE, 2007; INE, 2021).

fuentes de abastecimiento hídrico. Además, la infraestructura hídrica multipropósito continúa siendo insuficiente, ya que sólo se observan proyectos en 7 de las 26 cuencas que componen la macrozona, y en su mayoría corresponden a proyectos de menor escala, lo que restringe su capacidad de adaptación.

La calidad del agua representa un problema grave para todas las cuencas de la zona austral. El uso de agroquímicos en la actividad agrícola y ganadera pone en riesgo a ecosistemas frágiles y cuerpos de agua cercanos. Se observa un deterioro en la calidad del agua en todas las cuencas de la macrozona, atribuido principalmente a descargas de aguas servidas, debido a la carencia de servicios de saneamiento (inferior al 70%) y a la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales. A esto se suman riesgos de contaminación asociados a la acuicultura, así como a la creciente actividad industrial y minera, situación que incrementa la exposición a contaminantes y la presión sobre los recursos hídricos. Por otra parte, se ha registrado un cambio significativo en el uso de suelo, lo que pone en riesgo los ecosistemas cercanos, especialmente humedales y cuerpos de agua, debido a la presión ejercida por las industrias ganadera, pesquera y agrícola. Esta situación se ve agravada por el bajo nivel de monitoreo en todas las cuencas de la zona austral, con excepción de Costeras entre R. Puelo – R. Yelcho (BNA 106) y Cuencas e Islas entre R. Bueno – R. Puelo (BNA 104). Debido a las presiones de las actividades productivas, los efectos del cambio climático y la falta de identificación de zonas de protección de fuentes de agua y caudales ecológicos, la capacidad de los ecosistemas para proveer servicios ecosistémicos se ha visto reducida en todas las cuencas de la macrozona. La mitad de las cuencas presenta un nivel de protección de humedales inferior al 5%, lo que destaca la necesidad urgente de implementar medidas de conservación más efectivas. Más de la mitad de las cuencas de la macrozona austral presentan alta vulnerabilidad a eventos extremos como inundaciones, con sistemas de defensa fluvial que resultan insuficientes. La baja efectividad de los sistemas de drenaje de aguas lluvias agrava esta situación, lo que en definitiva incrementa los impactos ante eventos de crecidas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.1-1 Distribución de demanda nacional (%) por uso, según macrozona para el año 2023

Tabla 8.1-1 Balance Hídrico Estructural Nacional Actual*

Zona	Código BNA	Cuenca	Balance Hídrico ²²	Restricciones		Estado Balance Unificado ²³
				Superficiales	Subterráneas	
Norte	010	Altiplánicas	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	011	Quebrada de la Concordia	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	012	Río Lluta	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	013	Río San José	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	014	Costeras Río San José - Quebrada Camarones	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	015	Quebrada Río Camarones	Estrés hídrico	No	No	Estrés hídrico
	017	Pampa del Tamarugal	Estrés hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	018	Costeras Tilviche-Loa	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	021	Río Loa	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	022	Costeras R. Loa-Q. Caracoles	Déficit hídrico estructural	No	No	Déficit hídrico estructural
	024	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	025	Salar de Atacama	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	026	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	027	Quebrada Caracoles	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	028	Quebrada la Negra	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	029	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar	Estrés hídrico	No	No	Estrés hídrico
	030	Endorreicas entre Frontera - Vertiente del Pacífico	Déficit hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	032	Río Salado	Déficit hídrico	No	No	Déficit hídrico estructural
	033	Costeras e Islas R. Salado-R. Copiapó	Déficit hídrico	No	No	Déficit hídrico estructural
	034	Río Copiapó	Déficit hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	035	Costeras entre R. Copiapó - Q. Totoral	Déficit hídrico	No	No	Déficit hídrico estructural
036	Q. Totoral y Costeras hasta Q. Carrizal	Déficit hídrico	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural	
037	Quebrada Carrizal y Costeras hasta R. Huasco	Déficit hídrico	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural	
038	Río Huasco	Estrés hídrico	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural	
039	Costeras e Islas entre R. Huasco - Cuarta Región	Déficit hídrico	Sí	No	Déficit hídrico estructural	
040	Costeras e Islas entre Tercera Región y Q. Los Choros	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico	
041	Río los Choros	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural	

²² El Balance Hídrico corresponde al contraste realizado entre la oferta superficial y la demanda, donde Déficit Hídrico Estructural corresponde a cuencas donde la demanda extractiva supera el caudal que se excede el 50% del tiempo; Estrés hídrico: la demanda extractiva es mayor que el caudal que se excede el 85% del tiempo; y Con recursos: la demanda no supera el caudal que se excede el 85% del tiempo.

²³ El Balance Hídrico Unificado combina el Balance Hídrico con las restricciones de uso de agua superficiales y subterráneas, si la cuenca posee restricciones su nivel de criticidad aumenta.

	042	Costeras entre R. Los Choros – R. Elqui	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	043	Río Elqui	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	044	Costeras entre Elqui – Limarí	Déficit hídrico estructural	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	045	Río Limarí	Déficit hídrico estructural	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	046	Costeras entre R. Limarí – R. Choapa	Déficit hídrico estructural	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	047	Río Choapa	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	048	Costeras entre R. Choapa – R. Quilimarí	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	049	Río Quilimarí	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
Centro	050	Costeras R. Quilimarí – R. Petorca	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	051	Río Petorca	Estrés hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	052	Río Ligua	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	053	Costeras R. Ligua – R. Aconcagua	Estrés hídrico	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	054	Río Aconcagua	Estrés hídrico	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	055	Costeras entre R. Aconcagua – R. Maipo	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	057	Río Maipo	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	058	Costeras entre R. Maipo – R. Rapel	Déficit hídrico estructural	No	Sí	Déficit hídrico estructural
	060	Río Rapel	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
	061	Costeras Rapel-E. Nilahue	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	071	Río Mataquito	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	073	Río Maule	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
Sur	081	Río Itata	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	083	Río Biobío	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	084	Costeras e Islas entre R. Biobío – R. Carampangue	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	094	Río Toltén	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	103	Río Bueno	Con recursos	Sí	Sí	Déficit hídrico estructural
Austral	104	Cuencas e Islas entre R. Bueno – R. Puelo	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	105	Río Puelo	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	106	Costeras entre R. Puelo – R. Yelcho	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	109	Islas Chiloé y Circundantes	Con recursos	Sí	No	Estrés hídrico
	122	Costeras entre Seno Andrew, R. Hollemberg e islas al oriente	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	125	Costeras entre Laguna Blanca, Seno Otway, Canal Jerónimo y E. Magallanes	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico
	128	Tierra del Fuego	Con recursos	No	Sí	Estrés hídrico

* Se presenta el balance para las cuencas con estado de Estrés Hídrico y Déficit Hídrico Estructural.

Fuente: Elaboración propia.

8.2 EL FUTURO EXISTE EN EL POTENCIAL DEL PRESENTE: POLÍTICAS PÚBLICAS E INNOVACIONES

La gestión hídrica nacional cuenta con un robusto compilado de políticas, planes y estrategias que permiten dar carácter a este estudio y construir la visión estratégica nacional y regional en función de lograr la SH. Entre ellas destacan la Política Nacional de Recursos Hídricos 2015 (PNRH), los Planes Regionales de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 (PRIGRH) y los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica por cuencas (PEGH). Los planes difieren en la escala de aplicación, a la vez que comparten los lineamientos de garantizar la disponibilidad y el acceso al agua, priorizando el consumo humano, el desarrollo de infraestructura eficiente y la gestión integrada del recurso. En particular, se han desarrollado 46 PEGH en distintas cuencas a nivel nacional, los que se distribuyen en: 22 planes para la zona Norte, 10 planes para la zona Centro, 9 planes para la zona Sur y 5 planes para la zona Austral. En el ámbito de producción se han desarrollado Planes de Riego los cuales tienen por objetivo contribuir al uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos para riego a nivel de cuenca. Existen 67 planes de riego a nivel nacional, donde 23 corresponden a planes para la zona Norte, 7 para la zona Centro, 12 para la zona Sur y 25 para la zona Austral. Se identifica la necesidad de extender el desarrollo y actualización de estos instrumentos de gestión, tanto de Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas (PERHC) y Planes de Riego, a aquellas cuencas que carecen de herramientas similares. Para un análisis más detallado, se recomienda consultar el Capítulo 3 del presente informe. Por otra parte, se han logrado avances significativos en cuanto a la habilitación de nuevos instrumentos normativos, esto incluye la Ley de Servicios Sanitarios Rurales, que refuerza la gestión comunitaria del agua; la reforma al Código de Aguas, que prioriza el consumo humano y mejora la gestión del agua; la Ley Marco de Cambio Climático, que permite abordar los retos que presenta el cambio climático; la Ley de Riego, que aumenta el apoyo a la pequeña y mediana agricultura y promueve el desarrollo rural sostenible; y la Ley que faculta al Ministerio de Obras Públicas para construir infraestructura hídrica multipropósito.

Por otra parte, la gestión de los recursos hídricos enfrenta desafíos significativos, debido a la fragmentación existente a nivel sectorial, el bajo nivel de coordinación entre actores públicos y privados, y una deficiente articulación institucional, lo que conduce a una gestión poco sinérgica y a medidas reactivas que no logran abordar y dar solución a problemas complejos. Además, existen brechas de información que limitan la caracterización y gestión de las cuencas con respecto a las fuentes de abastecimiento de agua, acceso a la red de agua potable y acceso a la red de alcantarillado. Se identifica escasa información referente a la disponibilidad de agua en acuíferos, estimaciones de recarga, nuevas fuentes de agua y estudios de reúso de aguas. Adicionalmente, existe un déficit en la red hidrométrica y de calidad de aguas, y un limitado conocimiento sobre el estado de las infraestructuras de riego. Se observa la carencia de estudios hidrogeológicos y de modelación de cuencas, a la vez que no se identifican planes maestros de aguas lluvias para todas las regiones. Por último, existe desconocimiento en torno

a los titulares de DAA y bajo nivel de integración de datos e información proveniente del sector público y privado.

El fortalecimiento de la gestión hídrica requiere la integración de soluciones innovadoras que permitan dar solución a las brechas mencionadas, que diversifiquen las fuentes de abastecimiento y permitan la adaptación al cambio climático. Esto incluye la reutilización de aguas servidas, recarga artificial de acuíferos, obras de regulación e infiltración, sistemas urbanos de drenaje sostenible, plantas desaladoras, y mejoramiento de riberas y reforestación. Estas soluciones deben ser complementadas con tecnologías avanzadas para el monitoreo, caracterización de infraestructura y disponibilidad hídrica. Para su implementación, es crucial desarrollar nuevas capacidades, identificar los requerimientos de infraestructura locales, modernizar las instituciones, y fomentar la integración de conocimientos de todos los actores involucrados. Además, es necesario actualizar los estándares de planificación, diseño y operación para aumentar la resiliencia, y establecer procesos que faciliten la prueba, adaptación y validación de las soluciones innovadoras, antes de su implementación a gran escala.

8.3 GOBERNANZA PARA EL FUTURO DESEADO: EL ROL DEL MOP Y ACTORES CLAVE

El Ministerio de Obras Públicas (MOP) lidera la gestión de infraestructura hídrica mediante planificación estratégica, regulación y coordinación interinstitucional, buscando garantizar la sostenibilidad y disponibilidad de los recursos hídricos. Su Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055 (PNIP) establece una estrategia para abordar los desafíos hídricos futuros, adaptándose a cambios climáticos y socioeconómicos, promoviendo soluciones sostenibles. Las políticas planteadas en este plan son adaptadas al territorio, por lo que consideran en su quehacer la participación de instituciones y organizaciones fundamentales para su desarrollo e implementación. A nivel regional, actores como los Gobiernos Regionales, las Secretarías Regionales Ministeriales del MINAGRI y Ministerio de Minería, INDAP, CNR, CONAF, CONADI, SISS, OUA²⁴, empresas sanitarias, empresas mineras, agricultores, empresas agrícolas y agropecuarias, empresas forestales y acuícolas, centros de investigación y comunidades indígenas, entre otros, desempeñan roles clave en la gestión y gobernanza del recurso hídrico. Mediante la integración activa y la planificación coordinada con los actores clave, se desarrollan soluciones efectivas que permiten optimizar la inversión, lograr el cumplimiento de metas y la materialización de una gestión hídrica integrada y equitativa para los territorios. El MOP juega un papel crucial en la coordinación interinstitucional en temas hídricos, actuando como facilitador entre diferentes entidades y actores territoriales, promoviendo la colaboración e implementación de políticas integradas para una gestión eficiente y sostenible del agua en todo el país. Aunque el MOP destaca por su capacidad técnica, enfrenta desafíos

²⁴ MINAGRI: Ministerio de Agricultura; INDAP: Instituto de Desarrollo Agropecuario; CNR: Comisión Nacional de Riego; CONAF: Corporación Nacional Forestal; CONADI: Corporación Nacional de Desarrollo Indígena; SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios; OUAs: Organizaciones de Usuarios de Agua.

como la fragmentación organizativa y la falta de continuidad en las políticas. Para abordar estos desafíos, es esencial fortalecer la articulación local, fomentar la confianza y asegurar una gobernanza colaborativa y resiliente, adaptada a realidades territoriales, que trascienda ciclos gubernamentales.

8.4 FRENTE A LA INCERTIDUMBRE: VISIÓN COMÚN PARA LA RESILIENCIA

La visión estratégica del Plan Nacional de Infraestructura Pública 2025-2055 prioriza la resiliencia hídrica como un componente central de la gobernanza nacional, frente a la crisis hídrica. Este enfoque reconoce el agua como un recurso estratégico para la población, la economía y la biodiversidad, promoviendo su gestión integrada y sostenible en respuesta a los desafíos climáticos y socioeconómicos, en base a los principios de sostenibilidad, mitigación y adaptación al cambio climático. Se busca garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento, fomentando un desarrollo equitativo y resiliente. Pretende fortalecer y fomentar la diversificación de las fuentes hídricas y actividades productivas, así como el impulso a la innovación, para lograr el desarrollo de una economía resiliente, que potencie la productividad del país y sus diversas regiones, asegurando que los recursos hídricos satisfagan las necesidades de sectores estratégicos vinculados a la demanda global, como la transición energética, la producción de alimentos saludables, la seguridad alimentaria y el desarrollo de nuevas industrias tecnológicas. Pone especial énfasis en la protección y manejo de las fuentes hídricas bajo presión, excluyendo patrones históricos de extracción y promoviendo un compromiso activo con la recuperación y conservación de las fuentes de agua, asegurando la continuidad del ciclo del agua y un balance hídrico sostenible. El PNIP se centra en desarrollar una gestión integral de los recursos hídricos, que constituya un pilar fundamental en la gobernanza hídrica nacional que dé respuestas y cumplimiento a los objetivos y metas regionales, con un enfoque en acciones que se adapten a las particularidades territoriales y promuevan soluciones de largo plazo.

8.5 MEGATENDENCIAS Y SUS POTENCIALES CONSECUENCIAS: ESCENARIOS DE DESARROLLO

En este acápite se presenta una síntesis de los cuatro escenarios de desarrollo que reflejan la interacción entre las tendencias globales y factores locales, su impacto en las brechas de seguridad hídrica y la capacidad de respuesta del sistema a nivel Nacional. Para mayor profundidad, revisar el capítulo 6 del presente informe.

En un escenario de *Estancamiento Crítico*, se observa un deterioro progresivo en la seguridad hídrica del país, debido a una demanda hídrica en expansión, los efectos del cambio climático, el incremento en los requerimientos hídricos, para consumo humano y actividades económicas, y la insuficiente infraestructura y regulación, lo que compromete la sostenibilidad del desarrollo nacional y la calidad de vida de la población. El acceso a agua potable y a servicios

básicos es limitado en comunidades rurales y periurbanas, situación que se ve agravada por la crisis hídrica, incrementando las desigualdades. Sobresale Ñuble y Biobío, por sus brechas significativas en la cobertura de saneamiento, y Valparaíso por sus limitaciones en la disponibilidad de agua, lo que ha desencadenado conflictos por derechos de uso. La contaminación de fuentes hídricas y la insuficiencia de sistemas de tratamiento han conducido a un aumento en la incidencia de enfermedades. Las diferencias en el acceso a agua potable y saneamiento entre áreas urbanas y rurales se han agudizado, comunas como Petorca y La Ligua enfrentan restricciones severas, mientras que en la región Metropolitana el suministro se mantiene estable, pero con una demanda creciente que podría comprometer su disponibilidad futura. La reducción en las precipitaciones y la recarga de acuíferos ha provocado déficits estructurales en múltiples cuencas. Esta situación afecta gravemente a las regiones de Atacama, Antofagasta y Tarapacá, donde la actividad extractiva y agroindustrial se ve afectada por su dependencia a los recursos hídricos. La minería, agroindustria y manufactura han intensificado la presión sobre los recursos hídricos, en función de las tendencias productivas. La expansión de cultivos intensivos de exportación, como frutales en O'Higgins y el Maule, han incrementado la demanda de riego, acentuando la necesidad de incorporar sistemas de eficiencia hídrica más avanzados. La reducción del agua ha limitado la superficie cultivable, comprometiendo la competitividad de la agroexportación, los ingresos fiscales y los empleos. En el sector minero, la alta concentración de faenas en la zona norte ha provocado un uso intensivo del agua subterránea, impactando en la sostenibilidad de los acuíferos. Las restricciones en el uso de agua han incrementado los costos operacionales, afectando la rentabilidad de explotaciones mineras. La reducción en la capacidad de generación hidroeléctrica en embalses, como Rapel y Ralco, ha incrementado la dependencia del país hacia fuentes fósiles de energía, con repercusiones en los costos de producción y en la huella de carbono nacional. Por otra parte, el crecimiento del sector energético, con un enfoque en energías renovables, ha reducido la dependencia de generación hidroeléctrica. Se presentan desafíos en la redistribución del recurso para sectores clave, como consumo humano e industrias productivas. La reducción en la disponibilidad hídrica podría comprometer hasta un 3% del PIB anual, disminuyendo la competitividad de la industria y ralentizando la expansión de sectores productivos (DIRPLAN, 2024). La carencia de inversiones en infraestructura, en regiones críticas como Antofagasta y Tarapacá, agudiza esta situación. El déficit en la gobernanza hídrica es otro factor crítico que amplifica la crisis. La fragmentación institucional y la falta de coordinación entre organismos han obstaculizado la implementación de soluciones de largo plazo. La ausencia de un enfoque de planificación hídrica integrado ha conducido a una asignación ineficiente de derechos de uso y a la explotación insostenible de fuentes hídricas. Sin una estrategia de gobernanza robusta y mecanismos efectivos de fiscalización, la administración del recurso continuará siendo deficiente, incrementando la vulnerabilidad del país ante eventos de estrés hídrico. Los patrones observados en las últimas décadas revelan una vulnerabilidad estructural que, de no ser abordada con políticas integradas y basadas en evidencia, podría derivar en impactos irreversibles a nivel social, económico y ambiental.

En un escenario de *Desafío Gestionable*, Chile enfrenta una situación compleja producto de la intensificación de los desafíos de seguridad hídrica, como resultado de la creciente presión sobre los recursos hídricos en función del crecimiento del sector agrícola, minero y energético. El sector agrícola incrementa la expansión de la agroindustria en la zona central y se intensifican los cultivos de exportación en regiones como Coquimbo, O'Higgins y Maule. En estas zonas, el uso intensivo del recurso ha llevado a una competencia creciente por el agua, afectando a comunidades locales y sectores productivos. Las proyecciones indican un incremento en la demanda de agua para riego. En Coquimbo, la agroindustria y fruticultura requiere un 20% más de agua para sostener la producción, en Maule el aumento del 18% en el uso de agua para cultivos de exportación ha conducido a mayores inversiones en eficiencia de riego, en O'Higgins, los sistemas de riego tradicionales están siendo reemplazados por tecnologías más eficientes. La presión sobre los embalses, como Convento Viejo y Ancoa, ha generado la necesidad de planes de expansión y construcción de nuevas reservas de agua. Además, en cuencas como Cachapoal y Mataquito, se han implementado estrategias de recarga artificial para aumentar la disponibilidad del recurso en períodos de sequía prolongada. La creciente extracción de litio en la cuenca del Salar de Atacama ha intensificado las tensiones por el uso del agua en la minería no metálica, particularmente en la Región de Antofagasta. En la cuenca del Río Loa, la sobreexplotación de acuíferos ha llevado a restricciones en la extracción de agua subterránea, impulsando el desarrollo de plantas desalinizadoras para abastecer las operaciones mineras, reducir la presión sobre las fuentes de agua dulce y garantizar la continuidad de la actividad minera sin afectar el abastecimiento de las comunidades locales. El sector energético, ha aumentado su demanda de agua producto de la producción de hidrógeno verde, con plantas en Magallanes, Antofagasta y Atacama, lo que ha llevado a la planificación de nuevas plantas desalinizadoras en el norte del país. En la Región de Atacama, las centrales termosolares han integrado sistemas de recirculación para minimizar el uso de agua en la refrigeración térmica, reduciendo la huella hídrica del sector, pero también han generado desafíos de integración con los sistemas de abastecimiento local. La capacidad de respuesta del país permite la implementación de planificaciones más estrictas y el desarrollo de nuevas estrategias de gestión hídrica. La incorporación de tecnologías avanzadas, la diversificación de fuentes de abastecimiento y la optimización del uso del recurso han permitido mejorar la resiliencia hídrica del país. Sin embargo, la sostenibilidad de estos esfuerzos dependerá de la capacidad de adaptación a escenarios de cambio climático y del compromiso de los distintos actores para garantizar un uso equitativo y eficiente del agua en el futuro.

En un escenario de *Capacidad limitada*, Chile enfrenta un contexto desafiante en materia de gestión del agua. El estado de seguridad hídrica presenta relativa estabilidad, sin embargo, las limitaciones significativas en la gestión hídrica y las presiones sobre los recursos, comprometen la capacidad de respuesta a largo plazo. La presión sobre los recursos hídricos proviene de una combinación de crecimiento productivo acelerado, impactos del cambio

climático y deficiencias estructurales en infraestructura y gobernanza. A medida que las industrias clave del país—minería, agroindustria, hidrógeno verde y acuicultura—se expanden, la disponibilidad de agua se convierte en un factor crítico para su sostenibilidad, en un entorno de alta competencia. El auge del litio y la expansión de la minería en el norte de Chile están incrementando la demanda de agua en regiones que ya enfrentan un estrés hídrico severo. La sobreexplotación de las fuentes de agua subterráneas en los salares, amenaza su sostenibilidad y pone en riesgo los ecosistemas asociados. Las proyecciones en la producción de hidrógeno verde plantean desafíos en términos de abastecimiento, debido a su alto consumo de agua. Esta situación también ha intensificado conflictos por el uso con otras industrias y consumo humano. La expansión de la agroindustria ha incrementado la presión sobre los recursos hídricos. La sobreexplotación de cuencas como Río Aconcagua y Río Limarí, ha generado conflictos entre agricultores y usuarios urbanos. El incremento en la eficiencia hídrica del sector será determinante para su viabilidad en el largo plazo y su competitividad con otras necesidades productivas y sociales. La acumulación de residuos orgánicos en fiordos y cuerpos de agua debido a la producción acuícola, ha generado eutrofización y afectación de los ecosistemas marinos, deteriorando la calidad del agua en regiones como Los Lagos, Aysén y Magallanes. Esta situación también compromete la calidad del agua potable en comunidades costeras que dependen de estas fuentes para su abastecimiento. Las barreras técnicas y económicas para la implementación de soluciones innovadoras y basadas en la naturaleza, generan retrocesos en la gestión hídrica e impiden la consolidación de un modelo de desarrollo sostenible y resiliente. La fragmentación institucional ralentiza las respuestas a la crisis hídrica nacional, perpetuando vulnerabilidades sistemáticas como las brechas en la provisión de servicios de agua potable y saneamiento, y dificulta la respuesta de las regiones a eventos climáticos extremos. Si esta capacidad de respuesta se mantiene a largo plazo y los desafíos no son abordados desde una perspectiva que combine inversión en infraestructura, modernización regulatoria, adopción de tecnologías emergentes y el desarrollo de una gobernanza hídrica integral y sostenible, el país puede entrar en un estado de crisis hídrica grave.

Finalmente, en un escenario de *Avance Sostenible*, el país logra estabilizar las brechas de seguridad hídrica mediante la implementación de estrategias avanzadas y la consolidación de un sistema de gestión sostenible. Se desarrolla el crecimiento moderado del PIB, impulsado por el crecimiento del sector minero, agroindustria, energías renovables, tecnologías y bioeconomía el cual está estrechamente ligado a la disponibilidad de agua, lo que obliga a repensar el modelo de gestión hídrica para garantizar la sostenibilidad del recurso en un contexto de estrés hídrico creciente. El sector minero implementa soluciones que le permiten optimizar el uso del agua en sus procesos. El desarrollo de tecnologías de extracción directa de litio en la producción minera ha reducido el consumo de agua y ha aumentado la eficiencia de los procesos. El desarrollo de la industria emergente de hidrógeno verde potencia la construcción de plantas desalinizadoras que permiten garantizar la viabilidad del sector sin

comprometer el abastecimiento hídrico de las comunidades locales. La agroindustria experimenta una transformación acelerada, con una creciente tecnificación del riego en las regiones de Coquimbo y O'Higgins, lo que ha permitido reducir en un 40% el consumo de agua por hectárea en cultivos como la vid y cítricos. Sin embargo, la sobreexplotación de acuíferos en el Valle del Limarí y del Huasco, ha generado una disminución alarmante de los niveles freáticos. Ante este panorama, el desarrollo de programas de recarga de acuíferos se presenta como una medida urgente para revertir esta tendencia y asegurar la disponibilidad de agua a largo plazo. La diversificación de cultivos de menor requerimiento hídrico, como quinoa y legumbres, ha incrementado la capacidad de adaptación al cambio climático del país. La diversificación de la matriz energética, en base a energía solar y biocombustibles, ha permitido impulsar el desarrollo de energías renovables sin incrementar la demanda de recursos hídricos. La expansión de la silvicultura sostenible en La Araucanía y Biobío, juega un rol clave en la mitigación de los efectos del cambio climático, mejorando la capacidad de los suelos para retener humedad y reducir la erosión. El avance de las tecnologías ha permitido la digitalización de procesos productivos, con aplicaciones directas en la optimización del recurso hídrico. En la minería, el uso de inteligencia artificial y sensores en tiempo real ha permitido detectar fugas y optimizar el consumo de agua en las faenas. En la agricultura, el monitoreo el monitoreo de calidad de aguas y la agricultura de precisión ha minimizado la contaminación de fuentes hídricas. En el sector sanitario, la implementación de sistemas de gestión inteligente de redes de agua potable en Santiago y Valparaíso ha logrado disminuir las pérdidas por fugas, mejorando la eficiencia en la distribución del recurso. La construcción de embalses multipropósito en regiones críticas ha permitido estabilizar el abastecimiento de agua para el consumo humano y la agricultura, en los diferentes valles. La implementación de normativas que exigen la recolección y reutilización de aguas lluvia en nuevas construcciones en la Región Metropolitana y Valparaíso ha permitido reducir la demanda de agua potable en áreas urbanas densamente pobladas. Los incentivos para el uso de sanitarios y electrodomésticos de bajo consumo, han generado ahorros significativos a largo plazo. La modernización de los sistemas de enfriamiento en las plantas de producción industriales ha reducido los requerimientos de agua en los procesos. Las soluciones basadas en la naturaleza han cobrado una relevancia en la planificación hídrica, reconociendo el rol de los ecosistemas en la regulación de los ciclos del agua. La restauración de humedales urbanos en Santiago y Concepción ha permitido mejorar la capacidad de infiltración de agua y reducir el riesgo de inundaciones. La conservación de bosques en la cuenca del Río Biobío ha posibilitado la conservación del equilibrio hídrico en las principales fuentes de abastecimiento de la zona centro-sur. La reforestación con especies nativas en la Región de La Araucanía ha contribuido a mejorar la retención de humedad en los suelos y reducir la erosión en áreas de alta pendiente. La biotecnología aplicada a la regeneración del agua, mediante el uso de bacterias modificadas genéticamente para la descontaminación de aguas residuales, se perfila como una innovación con alto potencial. En este escenario Chile avanza hacia un modelo de desarrollo más sostenible, donde la gestión eficiente del agua se convierte en un pilar fundamental para garantizar la resiliencia del país

frente al cambio climático. La implementación de infraestructura moderna, sistemas eficiencia de uso, adopción de tecnologías innovadoras, fortalecimiento de la gobernanza hídrica y programas de inversión sostenidos en el tiempo, han permitido consolidar un sistema hídrico que no solo asegura el abastecimiento de agua para las generaciones futuras, sino que también impulsa la competitividad de los sectores productivos en un entorno de creciente incertidumbre climática.

8.6 ADAPTACIÓN COMO CAMINO PARA NAVEGAR LA INCERTIDUMBRE

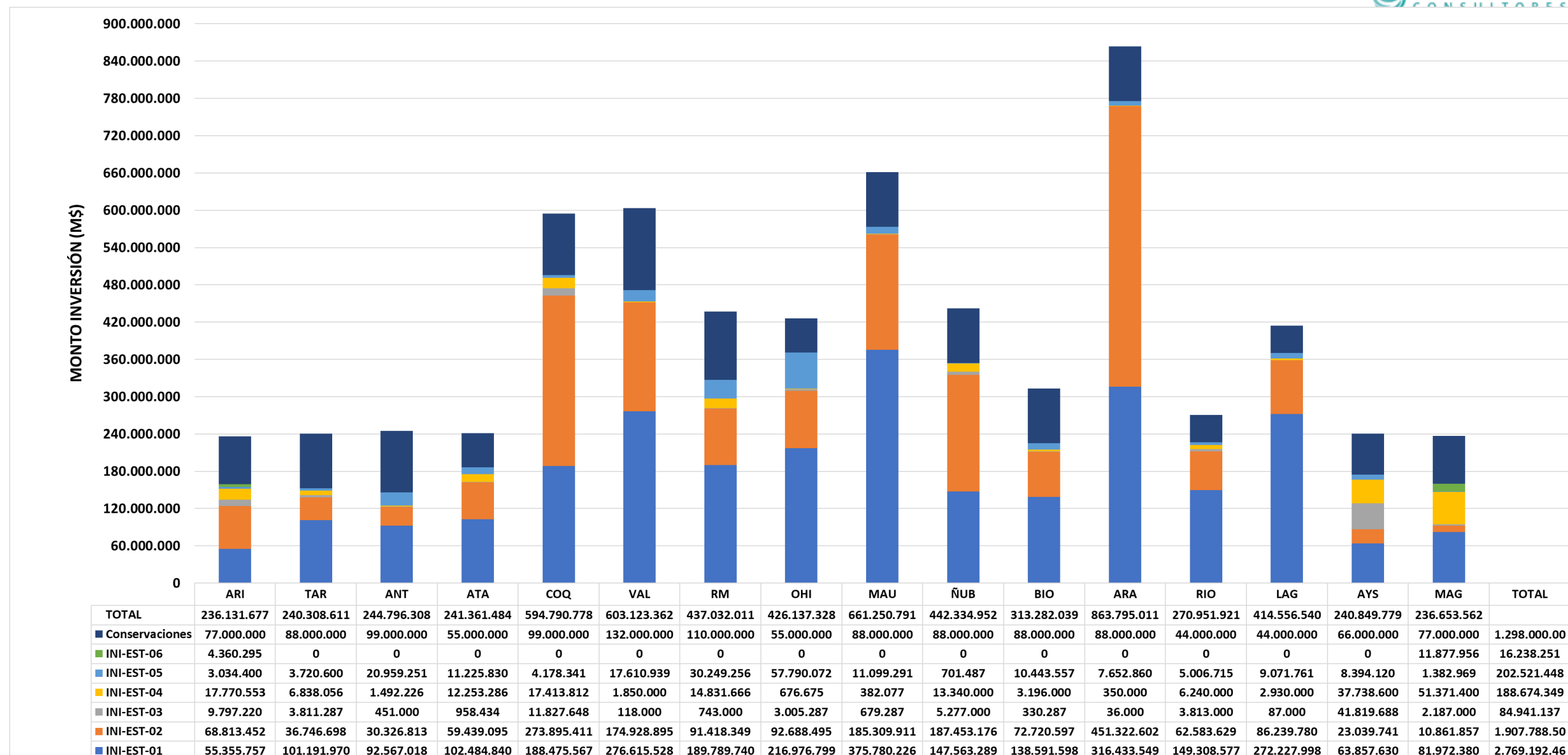
Chile se enfrenta tanto a la incertidumbre climática como a los desafíos asociados al desarrollo humano en sus diversas dimensiones. Por ello, es fundamental planificar de manera flexible y estratégica, considerando tendencias y posibles cambios disruptivos, así como también, desarrollar medidas que permitan anticipar y abordar los desafíos futuros. En ese sentido, el desarrollo de una planificación estratégica integral y sostenible es clave para abordar los desafíos regionales y nacionales. Se deben implementar medidas de adaptación en distintos niveles, a través de una coordinación transversal con mejoras institucionales, que consideren un contexto de alto dinamismo y por lo tanto una actualización constante. Esta planificación debe tener un enfoque inclusivo y coordinado para abordar problemas complejos de forma integral, que consideren las particularidades regionales, sin relevar un territorio por sobre otro. La implementación de servicios e infraestructura requiere de un rol activo de todos los actores y una inversión eficiente, que considere metas a corto y mediano plazo para lograr el desarrollo de soluciones efectivas en todos los territorios.

El PNIP se concibe como un plan dinámico y un instrumento de política pública en constante evolución, diseñado para actualizarse y adaptarse periódicamente a nuevos retos. A través de una serie de instancias de planificación multiescalar interconectadas en el tiempo, el plan integra información actual que le permite renovar decisiones y modernizar acciones de manera oportuna.

8.7 SOLUCIONES SINÉRGICAS PARA PROBLEMAS COMPLEJOS: INICIATIVAS ESTRATÉGICAS

Para lograr la seguridad hídrica en Chile, se deben abordar una serie de problemas complejos, que presentan múltiples facetas y una gran heterogeneidad territorial. En este contexto, es necesario implementar diversas iniciativas que actúan en diferentes ámbitos y escalas, tanto a corto como a largo plazo. En ese sentido, se han desarrollado las Iniciativas Estratégicas (IE), entendidas como un conjunto de acciones diversificadas que incluyen inversiones, medidas de gestión y propuestas de políticas públicas, orientadas a tener un impacto significativo en la seguridad hídrica del país y avanzar hacia un desarrollo sostenible. Estas iniciativas no se limitan a grandes obras aisladas, sino que abarcan conjuntos plurianuales de proyectos complementarios y multipropósito, así como medidas de gestión y propuestas de políticas públicas que, al aplicarse a nivel territorial, facilitan el avance hacia objetivos de desarrollo territorial sostenible con pertinencia local.

Las IE han sido priorizadas de acuerdo a los desafíos de las distintas regiones, en la Figura 8.7-1 se presenta su distribución por región, para cada IE.



Código Iniciativa Estratégica	Iniciativas Estratégicas
INI-EST-01	Ampliación, conservación y mejoramiento operacional y tecnológico de SSR en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas
INI-EST-02	Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego
INI-EST-03	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas
INI-EST-04	Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza
INI-EST-05	Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población
INI-EST-06	Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral de cuencas transnacionales

Fuente: Elaboración propia.

Figura 8.7-1 Inversión total distribuida por Iniciativas Estratégicas para cada región en los primeros 10 años

Dentro de las IE destaca la incorporación de tecnologías innovadoras y la construcción de infraestructura hídrica verde. Dado que para el PINP la protección y restauración de las fuentes de agua son fundamentales para el bienestar de las personas y el desarrollo económico, estas iniciativas tienen el objetivo de salvaguardar y recuperar las fuentes de agua en cantidad y calidad para todos los usos, así como proteger humedales, riberas y cauces, garantizando la seguridad de la población y los centros urbanos ante eventos climáticos extremos.

El monto total de inversiones priorizadas a nivel nacional para el periodo comprendido entre 2025-2035 se detalla a continuación:

- M\$ 2.769.192.500 de inversión para iniciativas de Ampliación, Conservación y Mejoramiento Operacional y Tecnológico de SSR en Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas.
- M\$ 1.907.788.500 de inversión para iniciativas asociadas a Fuentes de Abastecimiento Sustentables para Consumo Humano y Riego.
- M\$ 84.941.100 de inversión para la Implementación de Sistemas de Seguimiento y Monitoreo Integral, Asociado a una Gestión Integrada de Cuencas.
- M\$ 188.674.300 de inversión para Obras y Medidas de Protección y Recuperación de Sistemas Ecosistémicos Naturales, Basadas en la Naturaleza.
- M\$ 202.521.400 de inversión para el desarrollo de Sistemas Integrales de Infraestructura Resiliente en Cauces y Quebradas para la Seguridad Territorial y Protección de la Población.
- M\$ 16.238.300 de inversión para la implementación de un Sistema de Seguimiento y Monitoreo Integral de Cuencas Transnacionales.
- M\$ 1.298.000.000 de inversión para Conservación de Infraestructura Existente.

8.8 MONITOREO Y ESTRATEGIAS DE CONTINGENCIA

El PNIP aborda megatendencias globales como cambio climático, urbanización, intensificación agrícola y dinámicas demográficas, que redefinen la disponibilidad y demanda hídrica. Para enfrentar las vulnerabilidades y oportunidades que deparan estos factores, se proponen cinco tipos de acciones anticipatorias: *Mitigación*, son acciones que pretenden reducir impactos adversos probables, incluyen la modernización de la infraestructura de riego y la reducción de la pérdida en canales; la *cobertura*, corresponden a acciones que buscan minimizar riesgos por incertidumbres, considera la implementación de plantas desaladoras y la diversificación de fuentes. Por su parte, las medidas de *oportunidad* procuran aprovechar beneficios ciertos, considerando acciones que priorizan tecnologías de reúso de aguas residuales y optimización industrial-minera-agrícola; las acciones de *beneficio* persiguen capitalizar desarrollos inciertos, estas acciones consideran políticas de conservación (protección de humedales y caudales ecológicos) y la actualización de Instrumentos de Planificación Territorial. Por último, las

medidas *preventivas* buscan influir proactivamente en eventos externos, estas medidas involucran sistemas de monitoreo hidroclimático, acuerdos binacionales para acuíferos transfronterizos y la promoción de la gobernanza hídrica, reduciendo los conflictos socioambientales e incrementado la resiliencia nacional. Estas acciones, respaldadas por inversión en datos actualizados y participación multisectorial, robustecen la adaptabilidad frente a incertidumbres climáticas y presiones demográficas.

Bajo el liderazgo del Ministerio de Obras Públicas, se realiza un llamado a los actores públicos y privados a establecer metas comunes para la gestión hídrica nacional. Para ello, los procesos de discusión deben ser participativos, incorporando aspectos políticos y técnicos, e integrando la visión de comunidades locales, organizaciones sociales y expertos en la materia. Finalmente, resulta fundamental garantizar el financiamiento para la planificación, inversión, operación y conservación de la infraestructura hídrica, asegurando la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos. Es imperativo fortalecer la valorización del agua y modernizar la política pública asociada, promoviendo un diálogo inclusivo que garantice un desarrollo sostenible y equitativo para las generaciones presentes y futuras.

CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFÍA

- Abarca Silva, M. (2018). *Conformación del control del Agua Potable Rural (APR), a partir de la implementación de plantas desalinizadoras, según concepción del ciclo hidrosocial, en las localidades de Michilla y Paposo, Región de Antofagasta*. Santiago: Universidad de Chile: Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
- Álamos, N., Monsalve, T., Billi, M., Lefort, I., Allendes, A., Nacea, J., . . . Urquiza, A. (2021). Vulnerabilidad hídrica territorial. Documento de trabajo NEST N°3. In T. M. Nicolás Álamos. Santiago. doi:10.17605/OSF.IO/AGJ6P
- Almada, P. &. (1997). *IA proyecto central hidroeléctrica Ralco: impactos sinérgicos y acumulativos*. Comisión Nacional del Medio Ambiente.
- Alvarez-Garreton, C., Boisier, J., Blanco, G., Billi, M., Nicolas-Artero, C., Maillet, A., . . . & Garreaud, R. (2023). *Seguridad Hídrica en Chile: Caracterización y Perspectivas de Futuro*. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2,. Retrieved from www.cr2.cl/seguridadhidrica
- Alvarez-Garreton, C., Boisier, J., Blanco, G., Billi, M., Nicolas-Artero, C., Maillet, A., . . . Urrutia-Jalabert, R. (2023). *Seguridad Hídrica en Chile: Caracterización y Perspectivas de Futuro*. Santiago: CR2.
- Astudillo Pizarro, F., & Sandoval Diaz, J. (2019). Justicia espacial, desastres socionaturales y políticas del espacio: dinámicas sociopolíticas frente a los aluviones y proceso de recuperación en Copiapó, Chile. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(2), 303-321. doi:<https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n2.73520>
- Banco Mundial. (2021). *Chile: Informe Rural*. Obtenido de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/193131621327775848/pdf/Chile-Informe-Rural-2021.pdf>
- Banco Mundial. (2021). *El agua en Chile: Elemento de desarrollo y resiliencia*. Washington DC.
- BCN. (2023). *Ley Chile*. Obtenido de Banco del Congreso Nacional de Chile: <https://www.bcn.cl/leychile/acerca-de-ley-chile>
- BID. (2021). *Planificación de infraestructura hídrica para el futuro* (Vols. Documento de Trabajo BID N° IDB-WP-01162).
- Billi, M. M., P., A., E., M., A., O., R., S., R., B., . . . Manuschevic, D. (2021). *Gobernanza Climática de los Elementos. Hacia una gobernanza climática del Agua, el Aire, el Fuego y la Tierra en Chile, integrada, anticipatoria, socio-ecosistémica y fundada en evidencia*. Centro de

- Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. Retrieved from www.cr2.cl/gobernanza-elementos
- Blanco, E., & Donoso, G. (2016). Agua Potable Rural: desafíos para la provisión sustentable del recurso. *Actas de Derecho de AGUAs*, N°6, 63-79.
- Bolados A., M., Roa A., S., & Aedo A., M.-V. (2023). Análisis de las brechas e iniciativas hídricas propuestas en los planes estratégicos de gestión hídrica (PEGH): un acercamiento a la gobernanza para su implementación. *Sequía y escasez hídrica: mejoras institucionales y regulatorias en materia de aguas: IV Jornadas del régimen jurídico de las aguas*, 520.
- Bravo, J. G. (2021). *Análisis de disponibilidad de fuentes de agua en la zona centro-norte de Chile*. Universidad de Chile.
- Carretier, S. T.-L. (2017). Review of erosion dynamics along the major N-S climatic gradient in Chile and perspectives. *Geomorphology*, 300, 141-167. *Geomorphology*, 45-68.
- CASEN. (2022). *Encuesta CASEN*. (M. d. Familia, Editor) Obtenido de Observatorio Social: <https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/encuesta-casen>
- CDGA. (Diciembre de 2023). *Observatorio Legislativo: Proyectos de ley en materia de aguas*. Obtenido de Pontificia Universidad Católica de Chile: <http://derechoygestionaguas.uc.cl/es/observatorio-legislativo/actividad-legislativa-en-materia-de-aguas>
- Celedón, N. D. (2023, Julio). Concesiones sanitarias: cómo se insertan en el actual modelo de gestión colectiva de las aguas. *Actualidad Jurídica*(N°48). Retrieved from <https://derecho.udd.cl/actualidad-juridica/files/2023/04/aj-47-concesiones-sanitarias-como-se-insertan-en-el-actual-modelo-de-gestion-colectiva-de-las-aguas-natalia-dasencich.pdf>
- Celis, F. S. (2023). *Reutilización de las aguas servidas. Su régimen jurídico a la luz de la doctrina y legislaciones comparadas*. Universidad de Chile. Memoria Ciencias Jurídicas y Sociales.
- CEPAL. (2018). *Agua, producción de alimentos y energía*. Santiago: Naciones Unidas.
- CGR. (2014). *Informe Final N°1 sobre Estrategia Nacional de Recursos Hídricos*. Santiago, Chile. Obtenido de https://snia.mop.gob.cl/transparencia/documentos/informefinal_n1_2014_sobre_ENRH.pdf
- Comité Nacional de Restauración Ecológica. (2018). *Documento marco para la Restauración Ecológica*. Santiago: Ministerio de Medio Ambiente.
- Contreras Andrade, I. V. (2021). *Conflictos socio-ambientales en Chile: experiencias y perspectivas [Habilitación profesional, Universidad de Concepción, Facultad de Ingeniería Agrícola]*. Chillán.
- Cuadra Montoya, X. (2021). Multiculturalismo neoliberal extractivo en la cuestión hidroeléctrica en territorio mapuche. Un análisis a la implementación de la consulta indígena en Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (80).

- DGA. (2021). *Desarrollo de Herramientas para el Análisis de Salares y Cuencas Costeras y su Aplicación para el Desarrollo del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Salar de Atacama*. Centro de Cambio Global UC - Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- DGA. (2022). *Homologación del Cálculo Hidrológico para la Estimación de la Oferta Natural de Agua Histórica y Futura en Chile*. Santiago.
- DGOP. (2017). *Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático*. Santiago.
- Dirección General de Obras Públicas. (2017). *Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático*. Santiago.
- DIRPLAN. (2023). *Términos de referencia: Análisis de requerimientos de infraestructura hídrica a largo plazo 2025-2055*. Santiago.
- DIRPLAN. (2024). *Estudio básico: Análisis integral Plan Director de Infraestructura 2025-2055*. Santiago.
- DOH. (2015). *Informe Final de Evaluación del Programa de Infraestructura Hidráulica de Agua Potable Rural*. Santiago.
- DOH. (2021). *Análisis de inversión en infraestructura y gestión hídrica: Plan de inversión en iniciativas hídricas 2020-2050*. Santiago.
- E., J. C. (2019). *Desafíos y evolución del drenaje urbano en Chile*. Universidad de Concepción.
- Enayati, M., Bozorg-Haddad¹, O., Fallah-Mehdipour, E., Zolghadr-Asli, B., & Chu, X. (2021). A robust multiple-objective decision-making paradigm based on the water–energy–food security nexus under changing climate uncertainties. *Nature: Scientific Report*.
- Escenarios Hídricos 2030. (2021). *Gobernanza desde las cuencas: institucionalidad para la seguridad hídrica en Chile*. Santiago, Chile: Fundación Chile.
- Figueroa, B. (2010). Valoración económica detallada de las áreas protegidas de Chile. Fundación Chile. (2018). *Radiografía del agua. Brecha y riesgo hídrico en Chile*.
- Groves, D. G. (2006). *New Methods for Identifying Robust Long-Term Water Resources Management Strategies for California*. Pardee RAND Graduate School. Santa Monica, California, EEUU: RAND Corporation.
- Groves, D. G., Bonzanigo, L., Syme, J., Engle, N., & Rodríguez Cabanillas, I. (2018). *Preparing for Future Droughts in Lima, Peru: Enhancing Lima's Drought Management Plan to Meet Future Challenges*. Washington, D.C.
- Hill, M. (2013). Water Governance in the Context of IWRM: Chile. En *Advances in Global Change Research 54*. Dordrecht: Springer.
- INE. (2017). *Censo de Población y Vivienda*. Obtenido de Resultados CENSO 2017: <http://resultados.censo2017.cl/>

- MMA. (2022). *Senado de Chile*. Obtenido de Lineamientos Estratégicos Recursos Hídricos : https://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=tramitacion&ac=getDocto&iddocto=13317&tipodoc=docto_comision
- MOP. (2018). *Plan Chile 30/30. El futuro no espera, se construye*. Santiago, Chile: Mandrágora.
- Neme Castillo, O., Valderrama Santibáñez, A. L., & Chiatoucha, C. (2021). Factores determinantes del consumo productivo de agua y sus efectos en la actividad económica de México. *Economía, sociedad y territorio*, 21(66). doi:<https://doi.org/10.22136/est20211659>
- Ocampo-Melgar, A., Vicuña, S., J., G., & Varady, R. G. (2016). Scientists, Policymakers, and Stakeholders Plan for Climate Change: A Promising Approach in Chile's Maipo Basin. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 5(58), 24-37. doi:10.1080/00139157.2016.1209004
- Pastén, P. V. (2019). *Calidad del agua en Chile: Avances, desafíos y perspectivas*. .
- PNUD . (2023). Medición de la Pobreza Multidimensional en Chile . En MIDESO, *Encuesta Casen 2022*. Obtenido de <https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/storage/docs/casen/2022/Informe%20IPM%20-%20PNUD%20-%20CASEN%202022.pdf>
- Prieto. (2020). *¿Qué significa la declaración de Estado de Catástrofe?* Obtenido de Prieto: <https://www.prieto.cl/que-significa-la-declaracion-de-estado-de-catastrofe/>
- Rojas Calderón, C. (2019). Aspectos jurídicos sobre la Recarga Artificial de Acuíferos (RAA). Revisión desde el derecho de aguas chileno, con referencia a España y Australia. *Ius et Praxis*, 25(2).
- SERNATUR. (Febrero de 2024). *Big data para el turismo interno*. Obtenido de Principales destinos turísticos: <https://www.sernatur.cl/dataturismo/big-data-turismo-interno/>
- Siddiqi, A., Eriqat, F., & Diaz Anadon, L. (2016). Formulating Expectations for Future Water Availability through Infrastructure Development Decisions in Arid Regions. *Systems Engineering*. doi:10.1002/sys.21337
- SISS. (2021). *COMPENDIO INSTRUCCIONES Y PROCEDIMIENTOS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS*. Santiago. Obtenido de https://www.siss.gob.cl/586/articles-19289_recurso_1.pdf
- SISS. (2023). *Informe de coberturas sanitarias 2022*. Santiago. Obtenido de https://www.siss.gob.cl/586/articles-22927_recurso_1.pdf
- SISS. (2023). *Informe de gestión del sector sanitario 2022*. Santiago. Retrieved from https://www.siss.gob.cl/586/articles-22969_recurso_1.pdf
- Stehr, A., C., Á., Álvarez, P., Arumí, J. L., Baeza, C., Barra, R., . . . G. Chiang, D. C. (2019). *Recursos hídricos en Chile: Impactos y adaptación al cambio climático*. (M. d. Comité Científico COP25, Ed.) Santiago.
- Vitale, J., & Puebla, P. (2017). Aplicación de la prospectiva estratégica a la gestión integrada del recurso hídrico. En *Desafíos del agua para la región Latinoamericana* (págs. 80-93). Santiago: Fundación Chile.

- Walker, W. E., Marchau, V. A., & Kwakkel, J. H. (2019). Dynamic Adaptive Planning (DAP). En V. A. Marchau, W. E. Walker, P. J. Bloemen, & S. W. Popper, *Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice*. Cham: Springer.
- WRI. (2019). *World Resources Institute*. Obtenido de 25 Countries, Housing One-quarter of the Population, Face Extremely High Water Stress: <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>