

**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
ANEXO B - ANEXO METODOLÓGICO**

Preparado para:



marzo de 2025

CONTENIDO

CAPÍTULO 1	AJUSTE METODOLÓGICO	6
1.1	ALCANCES GENERALES DEL ESTUDIO	6
1.1.1	Descripción de la cuenca. Localización geográfica	6
1.1.2	Generación del SIG	8
1.2	CONSOLIDACIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN	9
1.2.1	Metodología aplicada a la revisión de antecedentes	10
1.2.2	Metodología aplicada a la caracterización y diagnóstico de la zona de estudio	10
CAPÍTULO 2	METODOLOGÍA APLICADA EL ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA DE RECURSOS HÍDRICOS	15
2.1	METODOLOGÍA APLICADA EN LA DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DIFERENTES USOS	15
2.1.1	Uso Agua Potable Urbana (APU)	15
2.1.2	Uso Agua Potable Rural (APR)	17
2.1.3	Uso Agrícola	20
2.1.4	Uso Pecuario	27
2.1.5	Uso Forestal	29
2.1.6	Uso Acuícola	30
2.1.7	Uso Minero	31
2.1.8	Uso Industrial	32
2.1.9	Generación Eléctrica	34
2.1.10	Caudal de reserva para protección ambiental y uso turístico	42
2.2	METODOLOGÍA APLICADA EN LA OFERTA HÍDRICA	45
2.2.1	Fuentes	45
2.2.2	Análisis de DAA	49
2.2.3	Oferta en la fuente	50
2.2.4	Eventos extremos	56
2.2.5	Calidad de Agua	58
CAPÍTULO 3	METODOLOGÍA AL ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	59

3.1	ACTUALIZAR LA INFORMACIÓN RECOPIADA AL AÑO BASE 2023	59
3.1.1	Infraestructura hídrica	59
3.1.2	Red hidrométrica	60
3.1.3	Nuevas fuentes de agua	60
3.2	ANALIZAR LAS INICIATIVAS PROPUESTAS EN LAS PLANIFICACIONES DEL MOP Y OTRAS INSTITUCIONES MATERIA HÍDRICA	60
3.2.1	Iniciativas en el Banco Integrado de Proyectos (BIP)	60
3.2.2	Planes de gestión territorial	61
CAPÍTULO 4	METODOLOGÍA APLICADA A LA IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS HÍDRICAS	62
4.1	BRECHAS DE BALANCE HÍDRICO	62
4.2	BRECHAS HÍDRICAS DE SEGURIDAD HÍDRICA	63
4.2.1	Brechas de seguridad hídrica para el derecho humano al agua, saneamiento y consumo humano de subsistencia	63
4.2.2	Brechas de seguridad para la producción sostenible y eficiencia hídrica	64
4.2.3	Brechas de seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas	65
4.2.4	Brechas para la seguridad hídrica que promueva la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación	65
4.2.5	Brechas de Información	66
4.3	METODOLOGÍA APLICADA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS DE INFRAESTRUCTURA	66
4.3.1	Análisis de infraestructura hídrica	70
4.3.2	Brechas de infraestructura hídrica	70
CAPÍTULO 5	IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	74
5.1	INICIATIVAS ESTRATÉGICAS	74
5.2	TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS	77
5.3	CONFORMACIÓN DE LA CARTERA DE PRE/INVERSIONES	77
5.3.1	Identificación de iniciativas innovadoras y de gestión	83
5.4	DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS	83
5.5	CONSOLIDACIÓN DE INFORMACIÓN	84
5.6	PROPUESTA DE ESCENARIOS DE DESARROLLO	85
5.6.1	Análisis de desafío gestionable	85
5.6.2	Análisis de capacidad limitada	86
5.6.3	Análisis de avance sostenible y resiliente	86
5.6.4	Análisis de estancamiento crítico	87

CAPÍTULO 6	EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y PRIORIZACIÓN	89
6.1	PRIORIZACIÓN DE INICIATIVAS	89
6.2	EVALUACIÓN ECONÓMICA	92
CAPÍTULO 8	PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA	94
8.1	MARCO CONCEPTUAL	94
8.2	METODOLOGÍA APLICADA AL ANÁLISIS DE ESCENARIOS	95
8.3	SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN	95
8.4	PROPUESTA PARA ORIENTAR LA TOMA DE DECISIONES FUTURAS	97
8.4.1	Seguridad hídrica en la región: estado del arte	97
8.4.2	Megatendencias y sus potenciales consecuencias: escenarios de desarrollo	97
8.4.3	Nuestra respuesta y responsabilidad: el rol del MOP y actores clave	98
8.4.4	Frente a la incertidumbre: Visión común para la resiliencia	98
8.4.5	El futuro existe en el potencial del presente: semillas de cambio	98
8.4.6	Innovaciones y políticas públicas: qué hace falta instalar y qué hace falta superar	98
8.4.7	Adaptación como camino para navegar la incertidumbre	98
8.4.8	Soluciones sinérgicas para problemas complejos: iniciativas estratégicas	98
8.4.9	Gobernanza para el futuro deseado	98
8.4.10	Monitoreo y estrategias de contingencia	99
CAPÍTULO 9	BIBLIOGRAFÍA	100

FIGURAS

Figura 2.1-1	Esquema general de la metodología de demanda de Agua Potable Urbana	17
Figura 2.1-2	Esquema general de la metodología de demanda de Agua Potable Rural....	20
Figura 2.2-1	Áreas protegidas chilenas y su grado de homologación de UICN	47
Figura 2.2-2	Variación de escorrentía proyectada por modelo CCSM4 para el periodo 2030-2060 respecto al histórico 1985-2015.	52
Figura 2.2-3	Variación de escorrentía proyectada por modelo CSIRO-MK3-6-0 para el periodo 2030-2060 respecto al histórico 1985-2015.....	53
Figura 2.2-4	Variación de escorrentía proyectada por modelo IPSL-CM5A-LR para el periodo 2030-2060 respecto al histórico 1985-2015.....	54
Figura 2.2-5	Variación de escorrentía proyectada por modelo MIROC-ESM para el periodo 2030-2060 respecto al histórico 1985-2015.	55
Figura 4.3-1	Matriz DAMI modificada para la metodología de Toma de Decisiones Robusta	68
Figura 4.3-2	Matriz DAMI modificada	69
Figura 5.1-1	Diagrama de flujo Iniciativas Estratégicas.....	75
Figura 5.2-1	Diagrama Composición Iniciativas Estratégicas	77
Figura 5.3-1	Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones.....	78
Figura 5.3-2	Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión.....	79
Figura 8.1-1	Diagrama para el desarrollo de una nueva prospectiva de requerimientos de infraestructura hídrica	94

TABLAS

Tabla 1.1-1	Estructura de la carpeta	8
Tabla 1.1-2	Estructura diccionario SIG	9
Tabla 2.1-1	Actualización Catastro uso de suelo y vegetación - CONAF.....	29
Tabla 2.1-2	Eficiencias de turbinas según tipo.....	37
Tabla 2.1-3	Valores de V_R y V_C adoptados, en m^3/MWh	38
Tabla 2.2-1	Eventos y su definición.....	56
Tabla 4.3-1	Brechas de infraestructura generales a nivel nacional	72
Tabla 4.3-2	Brechas de infraestructura generales a nivel nacional (continuación).....	73
Tabla 5.1-1	Código por región.....	75
Tabla 5.1-2	Iniciativas Estratégicas para la región de Arica y Parinacota	76
Tabla 5.3-1	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RRR-INI-EST-01 80	
Tabla 5.3-2	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RRR-INI-EST-02 80	
Tabla 5.3-3	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RRR-INI-EST-03 81	
Tabla 5.3-4	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar COQ-INI-EST-04 82	
Tabla 5.3-5	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar COQ-INI-EST-05 82	
Tabla 6.1-1	Criterios de Evaluación de Inversiones y valorización para su priorización ..	91

CAPÍTULO 1 AJUSTE METODOLÓGICO

Seguidamente, se presentan los aspectos metodológicos por aplicar en las diferentes componentes contempladas en el estudio según lo indicado en los Términos de Referencia

1.1 ALCANCES GENERALES DEL ESTUDIO

A continuación, se especifican los alcances generales del estudio.

1.1.1 Descripción de la cuenca. Localización geográfica

El presente estudio tiene alcance a nivel nacional; no obstante, la información cualitativa y cuantitativa recopilada deberá ser analizada con escalas de espacialización a nivel macrozonal, regional y de cuencas, según corresponda a las temáticas señaladas a continuación:

- Visiones prospectivas y propuestas de lineamientos estratégicos basados en la sistematización de los diversos instrumentos de política pública y aspectos normativos relevantes, que contribuyan a la formulación de propuestas prospectivas integrales en materias hídricas con alcances de mediano/largo plazo: Análisis a nivel nacional.
- Diagnóstico actual y proyectado del desarrollo del sector hídrico hasta 2055. A nivel regional, con énfasis en las cuencas priorizadas por los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica desarrollados por Dirección General de Aguas (DGA); también en aquellas que se consideren de interés público por el Comité de Planificación Integrada del Ministerio de Obras Públicas (CPI-MOP) y el Comité Experto Asesor (CEA).
- Identificación de Brechas Hídricas: A nivel regional, con énfasis en las cuencas priorizadas por los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica desarrollados por Dirección General de Aguas (DGA); también en aquellas que se consideren de interés público por el Comité de Planificación Integrada del Ministerio de Obras Públicas (CPI-MOP) y el Comité Experto Asesor (CEA).
- Propuestas de iniciativas hídricas de inversión además de iniciativas no estructurales y de gestión, analizadas en distintos escenarios de desarrollo futuros y sensibilizados conforme los efectos del cambio climático. Incluirá propuestas de iniciativas innovadoras para nuevas opciones de soluciones hídricas para enfrentar la crisis hídrica del país: A nivel regional, con énfasis en las cuencas priorizadas por los Planes

Estratégicos de Gestión Hídrica desarrollados por Dirección General de Aguas (DGA); también en aquellas que se consideren de interés público por el Comité de Planificación Integrada del Ministerio de Obras Públicas (CPI-MOP) y el Comité Experto Asesor (CEA). Asimismo, se realizará una consolidación de las iniciativas regionales a nivel nacional y en concordancia con los lineamientos estratégicos que se definan para el Plan Director.

- Iniciativas hídricas estratégicas priorizadas con horizonte al 2055, sobre la base de evaluaciones socioeconómicas y análisis multicriterio, contemplando para ello, criterios legales, aspectos ambientales, grados de legitimidad ciudadana, entre otras variables. A nivel regional, con énfasis en las cuencas priorizadas por los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica desarrollados por Dirección General de Aguas (DGA); también en aquellas que se consideren de interés público por el Comité de Planificación Integrada del Ministerio de Obras Públicas (CPI-MOP) y el Comité Experto Asesor (CEA). Asimismo, se realizará una consolidación de las iniciativas regionales a nivel nacional y en concordancia con los lineamientos estratégicos que se definan para el Plan Director.
- Propuesta de una nueva prospectiva integrada para abordar los requerimientos de inversión en infraestructura y/o gestión hídrica orientada a la seguridad hídrica y desarrollo territorial sostenible, entendida la concurrencia territorial de los distintos sectores de demanda, tanto económico-productivos como de los sistemas de centros poblados, con alcance al 2055, con cortes temporales a 10, 20 y 30 años. A nivel regional, con énfasis en las cuencas priorizadas por los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica desarrollados por Dirección General de Aguas (DGA); también en aquellas que se consideren de interés público por el Comité de Planificación Integrada del Ministerio de Obras Públicas (CPI-MOP) y el Comité Experto Asesor (CEA). Asimismo, se realizará una consolidación de las iniciativas regionales a nivel nacional y en concordancia con los lineamientos estratégicos que se definan para el Plan Director.

Considerando lo anterior, cabe señalar que, en el caso de iniciativas vinculadas a cuencas birregionales, las medidas propuestas son evaluadas, en primera instancia, en la región donde la acción se ubique de forma física; en el caso de que sean iniciativas que cubran la totalidad de la cuenca, estas son evaluadas independientemente en cada región bajo los criterios y factores definidos en cada territorio, dejando constancia que su ejecución tiene como condición una gestión interregional. No obstante, dado que uno de los resultados del Plan Director es identificar y definir los proyectos de infraestructura y los servicios MOP estratégicos desde el punto de vista nacional, pasando a ser un insumo para la planificación a nivel regional, todas las medidas regionales son priorizadas y evaluadas a nivel nacional, en donde se genera una estrategia de implementación que permita incentivar la gestión territorial de dichas medidas, apoyados desde un nivel central sin perder de vista la visión país.

Cabe señalar que, la compilación de iniciativas a nivel nacional, incluye un análisis macrozonal, presentando los principales resultados a las brechas de oferta y demanda, y una representación gráfica de las tipologías de iniciativas y su priorización.

1.1.2 Generación del SIG

El proyecto SIG tiene como principales objetivos el generar cartografía de apoyo y hacer análisis espaciales los cuales se ven reflejados en el informe principal y en las coberturas presentadas en la Geodatabase.

La geodatabase se elaboró utilizando el Software ArcGIS en su versión 10.6. Adicionalmente, el SIG del estudio considera entregar todos los productos informáticos y cartográficos proyectados en coordenadas UTM Huso 19 Sur y Datum de referencia WGS 1984.

Respecto a la parte informática y estructural del SIG, el almacenamiento de la información geográfica está compuesto por tres (3) Geodatabase, las cuales son:

Carta_Base.gdb: Geodatabase a nivel nacional que contiene información recopilada de diversas fuentes tanto públicas como privadas y que aportan consistencia al estudio y a los posibles análisis hechos por el usuario.

REGIÓN_[n° región]_GDB.gdb : Geodatabase que recopila toda la información generada por el consultor, tanto original como posibles modificaciones a material de otras fuentes para cada región estudiada.

Cada representación cartográfica es entregada en un proyecto particular (archivos formato .mxd) asociado al nombre de la figura que representa en el cuerpo del informe principal. La simbología empleada en la representación es agrupada en una única carpeta con todos los archivos .lyr que se generan.

De forma gráfica, la carpeta de la geodatabase se representa en la Tabla 1.1-1.

Tabla 1.1-1 Estructura de la carpeta

Primer Nivel	Segundo Nivel	Tercer Nivel
Carta_Base.gdb		
REGIÓN_[n° región]_GDB_.gdb	01_Proyectos	*.mxd
	02_Layers	*.lyr
	03_Figuras	*.jpg
	Proyecto.gdb	
Anexo SIG.pdf		
Diccionario.xlsx		

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las principales fuentes de información geográfica que se emplean, se encuentra lo dispuesto por IDE Chile en su sitio web, que aglutina gran parte de la información pública existente. Sin embargo, para el caso de las fuentes de información nuevas, se presenta el documento diccionario antes mencionado, que sirve de guía en cuanto al contenido, fuentes de información y principales campos de cada Feature Class empleado en el proyecto. La Tabla 1.1-2 representa la estructura del diccionario.

Tabla 1.1-2 Estructura diccionario SIG

Geodatabase	Datasets	Feature Class	Descripción	Fuente
Carta_Base	Datasets Carta_Base	Puntos, Líneas, Polígonos, Ráster.	Breve descripción del contenido en el Feature Class	Fuentes del Feature Class, relacionado al Anexo de referencias
REGIÓN_[n° región]_GDB	Carta_Base_Modificado			
Proyecto	DOH_Modificado Datasets			

Fuente: Elaboración propia.

Respecto del directorio “Proyecto”, este contiene la Geodatabase con información generada a partir del estudio y las siguientes subcarpetas:

01_Proyectos, que contiene los proyectos MXD con los cuales se generan las figuras del informe como también posibles análisis efectuados. Como estructura de presentación en los MXD, de manera de facilitar el uso y visualización de capas en la tabla de contenidos, se dispone en grupos según área temática de análisis y manteniendo la lógica de distribución de los Datasets.

02_Layers, contiene todos los archivos LYR generados para representar simbología de los Feature Class en los proyectos MXD.

03_Figuras, contiene todos los archivos exportados a partir de los proyectos MXD en formato JPG, se utiliza una resolución de 300 dpi.

Finalmente, el sistema de información generado es eficiente en el manejo, despliegue, consulta y salida de datos, a través de una estructura relacional robusta y lógica. El diseño metodológico es flexible, pero siempre ajustado a los lineamientos expresados por la Inspección Fiscal.

1.2 CONSOLIDACIÓN, ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

De acuerdo a lo señalado en los Términos de Referencia, se procede a consolidar, analizar y sistematizar la información de base dispersa en las diversas instituciones y/o documentos sobre las diferentes temáticas involucradas en el estudio, como es el caso de oferta, demanda, gobernanza hídrica, entre otros.

1.2.1 Metodología aplicada a la revisión de antecedentes

Los antecedentes revisados y que han sido consultados en el desarrollo del 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. Asimismo, en cada informe se incluye un acápite de bibliografía para aquellos antecedentes que no se incorporaron en el anexo antes mencionado.

1.2.2 Metodología aplicada a la caracterización y diagnóstico de la zona de estudio

La metodología aplicada para elaborar la caracterización de las regiones, se ha basado íntegramente en el análisis de los antecedentes de estudios disponibles. Mayor detalle sobre éstos se compila en el Anexo A, en el que se adjunta una serie de fichas resumen, las cuales han sido de utilidad al momento de compilar y sintetizar la información relativa a la caracterización de las regiones.

1.2.2.1 Dimensión física

i. Geomorfología y geología

Con el objetivo de caracterizar la geomorfología de las regiones se utilizaron fuentes de información secundaria vinculada a la materia. Entre estas fuentes se encuentra la Dirección General de Aguas (DGA) y la Comisión Nacional de Riego (CNR).

En cuanto a la caracterización de la geología de las regiones, se utilizaron fuentes de información secundaria vinculada a la materia. Entre estas fuentes se encuentra la Dirección General de Aguas (DGA) y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).

ii. Drenaje

Con el objetivo de caracterizar la red de drenaje superficial, presente en las regiones, se utilizó la capa “fuentes_nacional” y “lagos y lagunas” en formato vectorial (SHP) proporcionada por la DGA. Esta información fue complementada con fuentes secundarias vinculadas a la materia. Lo anterior, a fin de reconocer los tributarios y cuerpos de agua más relevantes presentes en la cuenca.

A partir del cruce entre las fuentes de información antes mencionadas se presenta una figura general de la región, en donde se representan los principales cursos y cuerpos de agua presentes en ella.

iii. Ambiental

- Unidades ecosistémicas

A continuación, se presenta la metodología aplicada en la caracterización de las principales unidades ecosistémicas identificadas.

- Ecosistemas terrestres

Con el objetivo de reconocer y definir las principales unidades ecosistémicas presentes en las regiones se consideró la cobertura cartográfica digital de los pisos de vegetación de Chile, provenientes de la Sinopsis bioclimática y vegetacional de Chile de Pliscoff del año 2017 y que el Ministerio del Medio Ambiente ha dispuesto en el centro de descarga IDE Chile (<https://www.ide.cl/>).

De manera adicional, se revisaron los datos de los catastros vegetacionales de CONAF, con el objetivo de conocer los usos de suelo actual, dado que las condiciones naturales originales no son representativas del actual uso de suelo. Para la descarga de estos catastros se accedió a la plataforma de información territorial dispuesta en el IDE del Ministerio de Agricultura (<https://ide.minagri.gob.cl/>).

- Ecosistemas de aguas continentales

La identificación de los cuerpos de agua presentes en las regiones se realizó a partir de la información contenida en el Inventario Nacional de Humedales que ha dispuesto el Ministerio del Medio Ambiente en su portal web (<https://humedaleschile.mma.gob.cl/inventario-humadales/>). A partir de esta información, se reconoció la ubicación, tipos de humedales y superficies. La información presentada consideró la identificación y representación cartográfica de los principales humedales presentes en la cuenca.

Se identificaron los principales lagos y lagunas a partir de la información de la Mapoteca DGA, específicamente del shape llamado “Lagos, lagunas, salares y embalses”. Se ordenaron los cuerpos de agua de las cuencas de mayor a menor superficie, y se identificaron los de mayor superficie. Adicionalmente, se verificó la extensión de estos con la información del Inventario de Humedales del Ministerio del Medio Ambiente. Posteriormente se hace mención a la subcuenca BNA a la que pertenece cada cuerpo de agua. La representación cartográfica igualmente se realizó a partir de esta información.

Por otra parte, a partir de la información del Inventario Nacional de Humedales, se identifican aquellos humedales clasificados como “Humedal asociado a límite urbano” en la columna “Tipo”. Adicionalmente se hace mención a aquellos humedales de la cuenca que han sido declarados oficialmente como urbanos bajo la ley 21.202, cuyas resoluciones se descargaron desde el sitio web

<https://humedaleschile.mma.gob.cl/humedales-urbanos/>.
cartográfica se realizó a partir del Inventario de Humedales.

La representación

Finalmente, a partir del Inventario de Humedales del Ministerio del Medio Ambiente, se identificó la categoría de humedales “palustres emergentes permanentes” y “palustres emergentes estacionales”, los que se definen y explican a partir del antecedente “Balance hídrico de humedales de uso agropecuario” del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA, 2021).

1.2.2.2 Clima

i. Caracterización climática

Con el objetivo de caracterizar el clima en la cuenca se utilizó la capa “Koppen_30_nov_2016” en formato vectorial (SHP) escala 1:1.500.000 que el Departamento de Geografía de la Universidad de Chile ha dispuesto en el centro de descarga IDE Chile (<https://www.ide.cl/>). Dicho mapa, representa los 25 tipos de clima que posee Chile según Sarricolea et al. (2017) usando la clasificación climática de Köppen-Geiger, en formato shapefile, y realizado sobre cubiertas de temperatura y precipitación mensual de 1 km² de resolución. La precipitación (pp) representa el promedio de precipitación por el tipo en toda su distribución espacial, al igual que la temperatura. La altitud (min. y máx.) son los extremos altitudinales en que se sitúa el tipo climático. Para los fines de este estudio, el análisis fue limitado al área que comprende a cada región.

ii. Variabilidad climática

En este punto se busca representar de manera cuantitativa y gráfica la variabilidad asociada a la precipitación, temperatura y caudales bajo escenarios de cambio climático, en comparación con el periodo histórico.

El análisis se realizó sobre las variables de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial. Para cada una se analiza el periodo histórico (1985-2015) y futuro (2025-2065), utilizando como registros las series ponderadas a escala de cuenca generadas a partir de los resultados del Balance Hídrico Nacional. La escala espacial de la información es 5 x 5 km/pixel, mientras que la escala temporal es mensual.

La agregación espacial se realizó agregando la información de cada pixel, utilizando la porción de área de este para cada una de las unidades espaciales, en este caso la cuenca. La agregación temporal anual se realizó sumando los valores mensuales para la precipitación, mientras que para la temperatura y la evapotranspiración potencial se consideró el promedio de los valores mensuales. Los resultados incluyen:

- Series anuales históricas y futuras (para cada GCM)
- Estadísticos de cada una de las series (promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.
- Tasa de cambio de los montos anuales para el periodo futuro

Luego de presentar dichos resultados, se presentan los valores promedio, desviaciones. Cada sección finaliza con un resumen de los resultados presentados, enfocado principalmente en las proyecciones realizadas por los MCGs.

Es importante mencionar y destacar que, si bien las proyecciones climáticas surgen de un acuerdo de cooperación internacional y es realizado por destacados centros de investigación del mundo, existe un alto grado de incertidumbre en dichas proyecciones. El primero es que a medida que avanza el tiempo, se empiezan a disponer de nuevas fuentes de información y metodologías para el análisis de estas proyecciones. Por tanto, es importante tener identificados las consideraciones y supuestos adoptados en el manejo de los GCM (Her et al., 2019, Woldemeskel et al., 2014) algunos de estos son:

- Escenarios futuros considerados
- GCM seleccionados
- Método de downscaling estadístico utilizado
- Información utilizada
- Resultados proyectados

Por último, en lo que respecta a los eventos extremos, se ha evidenciado que el cambio climático tiene influencia en distintos procesos hídricos relacionados a los eventos extremos. El origen de estos suele recaer en el aumento sostenido de las temperaturas a nivel global, lo que se traduce en cambios de los patrones climáticos históricos. Por ejemplo, ya se ha evidenciado el efecto del cambio climático en la periodicidad e intensidad de lluvias extremas. Además, el aumento de temperatura está ocasionando alteraciones en la línea de nieve, lo que tiene implicancia tanto en cambios del régimen hidrológico como variaciones del área aportante. Este último punto resulta crítico en cuencas donde una variación de 100 metros de la línea de nieve puede provocar un aumento del orden de decenas o cientos de km² de área aportante total, que al momento de un evento de precipitación generará un aumento porcentual importante en los caudales. Adicionalmente, el aumento de temperatura puede provocar eventos de sequías cada vez más intensos y extensos, afectando tanto la disponibilidad hídrica como la estabilidad de la biodiversidad.

1.2.2.3 Socioeconomía y cultural

i. División político-administrativa

La delimitación política-administrativa ha sido reconocida a partir de la capa “DPA_Comunas” y la capa “Subcuencas_BNA” de la Dirección General de Aguas.

ii. Demografía

Con el objetivo de describir las características sociodemográficas de los habitantes de la cuenca, se realiza una identificación y caracterización de la población, a partir de los datos del Censo de Población y Vivienda 2017 (INE, 2017) y de los resultados de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN, 2022).

iii. Actividades económicas

La identificación de las actividades económicas de interés para la región y la gestión de recursos hídricos, se realizarán a partir de los registros históricos del Producto Interno Bruto (PIB) regional, los que se obtuvieron desde la base de datos estadísticos en línea del Banco Central (BC, 2021). URL: [en línea] < <https://si3.bcentral.cl/> > [consulta: nov. 2023].

La información pertinente a las exportaciones regionales, se obtuvo desde los boletines informativos “Exportaciones”, generados por INE Regiones. URL: [en línea] <<https://regiones.ine.cl/>> [consulta: nov. 2023]

El análisis se realizó para aquellos sectores productivos identificados y/o vinculados con actividades demandantes de recursos hídricos (ver acápite 2.1)

CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA APLICADA EL ANÁLISIS DE OFERTA Y DEMANDA DE RECURSOS HÍDRICOS

En el presente acápite se define la metodología propuesta para la determinación de brechas hídricas a nivel regional y por cuenca.

2.1 METODOLOGÍA APLICADA EN LA DEMANDA FÍSICA Y LEGAL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA DIFERENTES USOS

A continuación, se definen las metodologías diseñadas para abordar las diversas demandas de agua en Chile, contemplando su amplia gama de usos: desde el consumo doméstico urbano y rural hasta las necesidades industriales, agrícolas y ambientales. Es crucial señalar que la extensión geográfica para la estimación de la demanda hídrica se llevará a cabo a nivel de cuenca, proporcionando así una comprensión más integrada y sistemática del uso y gestión del agua. Mientras que la extensión temporal de la proyección de las demandas se contempla hasta el año 2055.

2.1.1 Uso Agua Potable Urbana (APU)

La metodología para el estudio de la demanda hídrica de agua potable urbana en Chile se enfoca en el análisis del consumo humano en zonas urbanas, abastecidas principalmente por empresas sanitarias reguladas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).

Es importante destacar que las principales fuentes de documentos utilizadas para el cálculo de la demanda de agua potable en zonas urbanas corresponden a:

- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), organización que mantiene actualizada la información de cada sistema sanitario, siendo relevante los siguientes documentos:
 - PR027001. Formulario correspondiente al Sistema de Facturación Clientes Regulados, 52 BIS y Coberturas (SIFAC I y II), desde tiempo histórico hasta el último año actualizado.

- PR033001 Formulario que controla la información del Balance Oferta-Demanda (BOD) de las empresas sanitarias existentes en los sectores de estudio.
- PR018001. Formulario que controla la información de producción histórica de agua de las fuentes, hasta el último año actualizado.
- Archivo *shapefile* de las áreas de Territorio Operacional de las empresas sanitarias.
- Censo Poblacional del año 2017 (INE, 2017). Registro de la población rural correspondiente al año 2017 y las tasas de crecimiento regional históricas y proyectadas (hasta el año 2035).
- PIB por actividad económica para cada una de las regiones, obtenida desde el Banco Central de Chile.

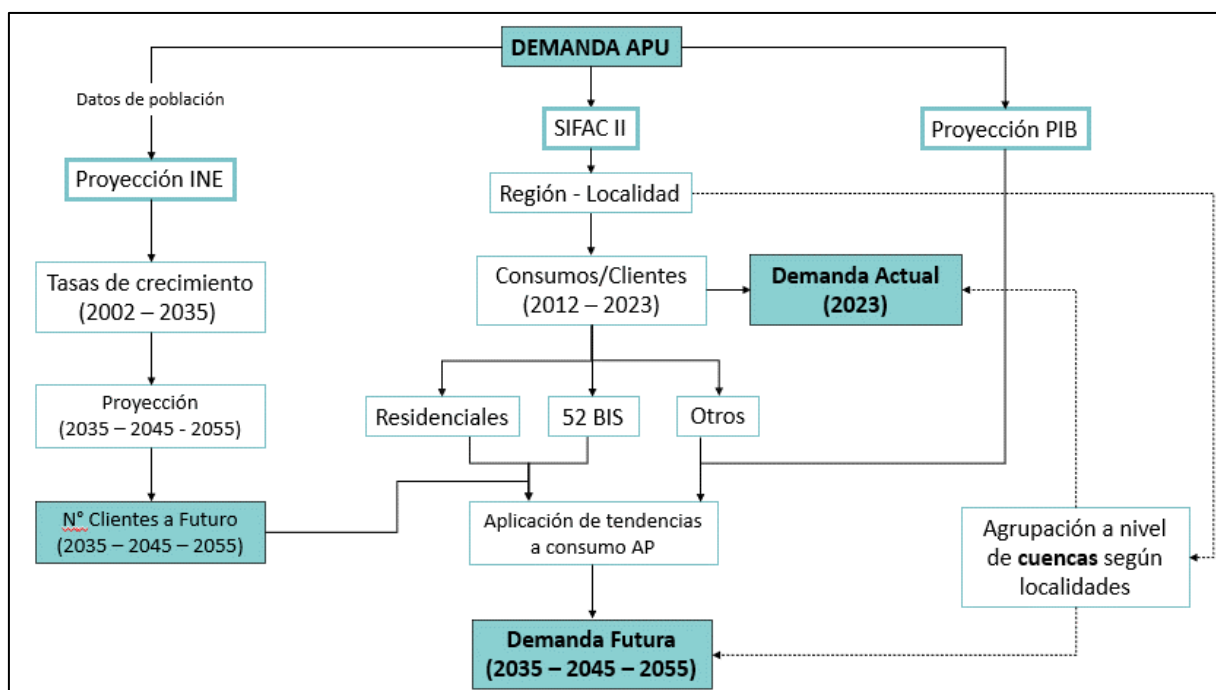
Para la determinación de la demanda de agua potable urbana histórica y actual, se estructura la búsqueda de antecedentes históricos, utilizando para esto las bases de datos presentadas en el Sistema de Facturación y Coberturas (PR027001 - SIFAC), de Clientes Regulados (al interior del territorio operacional) y Clientes No Regulados 52 BIS (fuera del territorio operacional). Dicha base de datos cuenta con información de consumos totales ($m^3/año$) y número de clientes, por cada localidad. Según esto, se consideran los clientes regulados en dos categorías: Consumo Residencial y Consumo Otros (incluye clientes comercial, industrial, institucional y no asociado a inmueble). De estos, solo se utilizan los volúmenes consumidos únicamente por los Clientes de Agua Potable, ya que los datos dispuestos por la SISS también presentan volúmenes de Clientes de Aguas Servidas, para los cuales se asume que presentan sus propias fuentes de abastecimiento de aguas.

Debido a que los datos mencionados anteriormente se encuentran clasificados por localidad, es necesario realizar el cruce correspondiente de información, de manera de poder analizarlo a nivel de cuenca. Para esto, se utiliza el *shapefile* de territorios operacionales de cada empresa y el de cuencas, realizando una intersección entre ambas capas. Para el caso de localidades que se encuentran geográficamente en dos cuencas, se procede a dividir el área objeto de análisis mediante una intersección con la cobertura de cuencas; asumiendo una distribución de la población homogénea y ponderada en las nuevas áreas generadas. Además, se realiza la misma clasificación con respecto a los datos de producción, de manera de obtener el porcentaje de pérdidas de distribución entre el volumen reportado como producción y el volumen facturado, lo que apoya las proyecciones realizadas.

Por otro lado, para estimar la demanda futura, se utiliza la proyección de la demanda actual y todos los registros históricos obtenidos desde los datos dispuestos por la SISS de los clientes regulados y no regulados diferenciados por su ubicación dentro o fuera del

territorio operacional de las empresas sanitarias, para un período proyectado al año 2055 en cada una de las regiones identificadas. Esta proyección se realiza con las tasas de crecimiento poblacional aplicado a los clientes residenciales y clientes no regularizados, mientras que para clientes categorizados como “Otros”, se utilizan las tasas de crecimiento del PIB. Además, se observan las variaciones en las perdidas históricas, utilizando datos de SIFAC para determinar el volumen producido a futuro y así obtener la demanda futura para cada sector de estudio.

El esquema general de la metodología de demanda de agua potable actual y proyección a futuro se observa en la Figura 2.1-1.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.1-1 Esquema general de la metodología de demanda de Agua Potable Urbana

2.1.2 Uso Agua Potable Rural (APR)

En este apartado se describe la metodología para analizar la estimación de la demanda hídrica necesaria para cubrir las necesidades de agua potable en el sector rural de Chile. El foco de esta metodología es obtener la base de datos de los sistemas APR más actualizada, utilizando la información más reciente de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) y en conjunto con otras fuentes que reúnen información previa a la Ley 20.998 que regula los servicios sanitarios rurales.

Esta actualización incluye datos de nuevos sistemas implementados, cambios en el número de arranques, y una revisión de la población beneficiaria, teniendo en cuenta las variaciones

en la densidad poblacional y los patrones de migración rural-urbana. Se presta atención especial a la inclusión de sistemas APR que han sido desarrollados o actualizados recientemente.

Es importante destacar que las principales fuentes de documentos utilizadas para el cálculo de la demanda de agua potable en zonas urbanas corresponden a:

- Catastro operadores SSR de la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), quien dispone de una base de datos georreferenciada de estos sistemas a nivel regional y escala comunal actualizada, identificando el año de puesta en marcha, el número de arranques y los beneficiarios estimados. Este archivo registra los sistemas instalados desde 1967 hasta el último año actualizado.
- Censo Poblacional del año 2017 (INE, 2017). Registro de la población rural correspondiente al año 2017 y las tasas de crecimiento regional históricas y proyectadas (hasta el año 2035).
- “Manual de proyectos de agua potable rural” (DOH, 2019). Incluye referencia de dotaciones en sistemas SSR de Chile.

La estimación de la demanda actual es realizada contabilizando tanto los sistemas que encuentran a partir del listado regional georreferenciado de SSR DOH (2023), que consideran aquellos sistemas que se encuentran dentro de la cuenca estudiada. Lo anterior, se analiza en conjunto con la población que no es abastecida por sistema de APR, la cual corresponde a la diferencia de la población rural evaluada por el CENSO (2017) con la cantidad de personas beneficiarias de APR dentro de la cuenca, asignándoles una dotación en base a antecedentes.

Por otro lado, la estimación de la demanda futuro se realiza considerando los sistemas APR concentrados y no concentrados existentes en cada localidad, las localidades pertenecientes al Plan de Localidades Semiconcentradas (PLS) y las localidades sin sistemas APR.

Para la estimación a futuro se cuenta con el registro de la población rural del último censo poblacional (INE, 2017); con lo cual se calculan las tasas de crecimiento anual regional histórico (1992-2017), y para años posteriores se utiliza una proyección exponencial de la tendencia de las tasas de crecimiento histórico.

Localidades con APR Concentrados y Semiconcentrados

En primer lugar, para las estimaciones en localidades con APR Concentrados y Semiconcentrados actualizados, se utiliza la información generada en la metodología para la demanda actual y se aplican las tasas de crecimiento poblacional hasta el año 2055 a

partir del número de beneficiarios al año 2022. La demanda es obtenida del producto entre esta proyección del número de beneficiarios y la dotación asociada a la región.

Respecto de las dotaciones, se utilizan los consumos de agua potable para cada una de las comunas existentes en la región, de manera de sacar el consumo por habitante de manera diferenciada en cada una de las comunas de la región según el informe de SISS (2023), y además, considerando que el consumo en zonas rurales aumenta debido a las distintas practicas asociadas, se suma al consumo obtenido anteriormente un extra de 30 l/hab./día correspondiente a la dotación por actividades de subsistencia según la información del Manual de Proyectos de Agua Potable Rural (DOH, 2019).

Localidades correspondientes a PLS

En segundo lugar, para las estimaciones de demanda en localidades pertenecientes al PLS (Plan de Localidades Semiconcentradas), estas localidades cuentan con el número de arranques y beneficiarios de diseño, por lo que según el año que corresponda iniciar la proyección, se utilizan estos datos para proyectar el número de beneficiarios estimados hasta el año 2055, para posteriormente calcular la demanda mediante el producto de beneficiarios de cada año y la dotación que corresponda a la comuna de la región estudiada.

Localidades sin Sistema APR

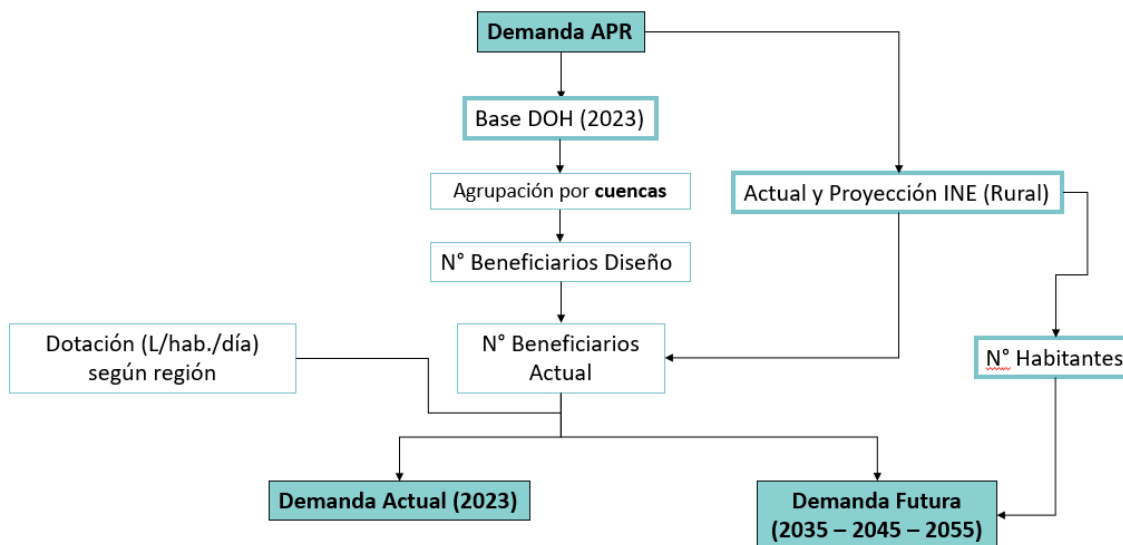
Por último, para las localidades sin sistema APR, en donde el número de beneficiarios sería estimado según la diferencia de la población rural evaluada por el CENSO (2017) con la cantidad de personas beneficiarias de APR dentro de cada localidad.

La dotación utilizada en este caso, se ajusta considerando un factor según el tipo de abastecimiento actual en dichas localidades, utilizando el siguiente criterio:

- Camión Aljibe + APR: 0,8
- Camión Aljibe, Red Artesanal, Sin información u otro: 0,5

Siendo finalmente, la demanda calculada como el producto entre el número de beneficiarios en cada año y la dotación ajustada según el factor correspondiente.

El esquema general de la metodología de demanda de agua potable rural actual y proyección a futuro se observa en la Figura 2.1-2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.1-2 Esquema general de la metodología de demanda de Agua Potable Rural

2.1.3 Uso Agrícola

En la metodología para estimar la demanda hídrica actual, se distinguen dos enfoques principales: la determinación de la demanda hídrica agrícola y la demanda de riego. La demanda hídrica agrícola se centra en la necesidad de agua para la evapotranspiración de los cultivos, mientras que la demanda de riego considera tanto la demanda neta (contemplando aportaciones por precipitación) como la demanda bruta (incluyendo la eficiencia de aplicación de riego). Se emplean datos de Censos Agropecuarios y Forestal, junto con otros recursos como Catastros Frutícolas y Estadísticas Productivas.

Es importante destacar que las principales fuentes de documentos utilizadas para el cálculo de la demanda de agua potable en zonas urbanas corresponden a:

- El VIII Censo Nacional Agropecuario, año 2021 realizado por el INE. Aportan información de superficies por tipología de cultivos a nivel de *comuna*, así como superficies bajo riego por grupo de cultivo y por *comuna* según método de riego, accesible desde la web <https://www.ine.gob.cl/censoagropecuario>.
- El VI Censo Nacional Agropecuario, año 1997 y el VII Censo Nacional Agropecuario, año 2007, realizado por el INE. Aportan información de superficies por tipología de cultivos a nivel de *distrito censal*, así como superficies bajo riego por *distrito censal* según método de riego, accesible desde la web icet.odepa.cl.
- Los Catastros Frutícolas de ODEPA-CIREN de la Región de Coquimbo, de los años 2015, 2018 y 2021. Proporcionan información de superficie por tipo de frutal, con información georreferencia (aproximada) de la ubicación de los predios,

accesible desde la web icet.odepa.cl. Aporta también detalle del sistema de riego empleado.

- El Catastro Vitícola Nacional 2021 (SAG, 2022). Proporciona valores de superficies viníferas y pisqueras por comuna en las regiones vitícolas de Chile; También recopila datos del régimen hídrico (riego/secano) de las plantaciones a escala regional. Accesible desde <https://www.odepa.gob.cl/rubro/vinos/catastro-viticola-nacional>.
- Estadísticas productivas agrícolas publicadas en la web de ODEPA (<http://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas>):
 - Estadística de frutales: Evolución de la superficie frutícola, hectáreas catastradas totales Región de Coquimbo, años 1999, 2005, 2011, 2015, 2018 y 2021.
 - Estadística de hortalizas: Estimación de la superficie sembrada o plantada de hortalizas en la Región de Coquimbo, por especies, año 2007 y 2010 a 2021.
 - Estadística de vides: Evolución de la superficie en la Región de Coquimbo de vides para vinificación y pisquera, entre 1997 y 2021.
 - Estadística de cultivos: Estimación de superficie sembrada de cultivos anuales en la Región de Coquimbo, entre 1979 y 2021.
- Eficiencias de aplicación de agua según método de riego, establecidas por el “Manual Técnico de presentación de proyectos de obras de tecnificación de riego” en el ITT-02 de la Comisión Nacional de Riego (CNR, 2015).
- Evapotranspiración de referencia para la determinación de las demandas de riego en Chile (CNR AGRIMED, 2015).
- Balance Hídrico (DGA, 2017b), tendencia histórica de evapotranspiración y series históricas de precipitación.
- Registros históricos de precipitaciones mensuales de la red meteorológica de la DGA, extraídos desde la plataforma web del Explorador Climático del Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia (CR)2 de la Universidad de Chile (<http://explorador.cr2.cl/>).
- Series de precipitación producto grillado de CR2MET (DGA, 2017b; Boisier et al., 2018).

Con respecto a temas agrícolas, existe una gran diferencia en la forma de producción: si se trata de zonas de riego o de secano. Lo anterior implica que las superficies en riego necesitan un aporte hídrico extra a las precipitaciones, mientras que las áreas agrícolas de secano se abastecen únicamente de los aportes de lluvia. Por lo anterior, para el caso de las áreas de secano, aplica únicamente la estimación de la demanda hídrica agrícola; mientras que para las áreas bajo riego se obtendrá además la demanda de riego (neta y bruta).

A modo de resumen, la estimación de la demanda de agua para riego se determina de forma indirecta calculando sus necesidades evapotranspirativas, a partir de superficies y tipología de cultivo. Posteriormente, en base a las precipitaciones, se calcula la demanda neta de riego, esto es, la diferencia entre la demanda bruta y las aportaciones de lluvia, obteniendo valores de demanda neta de riego. Finalmente, aplicando las eficiencias en la aplicación de riego, se determina la demanda bruta de riego.

Estimación de la superficie agrícola al año 2023

Para la estimación de la superficie agrícola riego, es necesario utilizar las superficies según el VIII Censo Agropecuario (INE, 2021) que indica superficie de riego, secano y sin información para todas las regiones del país. Para cada una de estas superficies se realiza las respectivas proyecciones al año 2023, utilizando la tendencia obtenida de los últimos años con información (1997, 2007 y 2021).

En conjunto con la información del Censo, se utilizan los siguientes datos para la estimación de las superficies de riego:

- Catastros frutícolas ODEPA-CIREN, años 2021, 2022 o 2023 según región. Las proporciones obtenidas de este catastro se aplican a las superficies obtenidas desde el CENSO. Para aquellas regiones en las que no existe catastro frutícola se utilizan directamente los valores de la categoría “frutales” de los datos del Censo.
- Catastro Vitícola del SAG, año 2021. Según la información de este catastro, se calculan las proporciones de las superficies vitícolas y posteriormente se aplican a las superficies de vides obtenidas desde el Censo.
- Encuesta de Superficie Hortícola, ODEPA (2022): Con la información de superficies de este catastro, se calculan las proporciones de las superficies vitícolas y posteriormente se aplican a las superficies de vides obtenidas desde el Censo.
- Estimación de superficie de cultivos anuales (2022): Al igual que en los otros casos, se calculan las proporciones de las superficies de cultivos anuales y posteriormente se aplican a las superficies de vides obtenidas desde el Censo.

Luego de obtenida las cifras anteriores, es posible de determinar la información a nivel de cuenca, para esto se toma el shapefile de cuencas de la mapoteca DGA y se cruza con el correspondientes shapefile de las comunas del censo mediante la herramienta SIG. De esta forma se obtiene la superficie a escala de cuenca por tipología de cultivo y producción (riego/secano) como base para los siguientes pasos.

Determinación de la demanda hídrica agrícola

El cálculo de la demanda hídrica agrícola estima las necesidades brutas de agua que requiere la superficie agrícola, según los parámetros evapotranspirativas para la tipología de cultivo involucrada. De esta manera se define a nivel mensual, como:

$$NB_{mesj} = ETC_{mesj}$$

Donde:

NB_{mesj} = Necesidades brutas del mes j (mm/mes)

ETC_{mesj} = Evapotranspiración del cultivo del mes j (mm/mes)

Para obtener la demanda hídrica agrícola de una cuenca, se calcula como el cociente de la evapotranspiración por la superficie de la cuenca:

$$DHA_{i,j} = \frac{ETC_{i,j} * A_i}{100}$$

Donde:

$DHA_{i,j}$ = Demanda hídrica agrícola de la cuenca i del mes j (mm³/mes).

$ETC_{i,j}$ = Evapotranspiración del cultivo de la cuenca i del mes j (mm/mes).

A_i = Superficie agrícola de la cuenca i (hectáreas).

En el análisis de las proyecciones futuras en el ámbito de la demanda hídrica agrícola, resulta fundamental enfocarse en la estimación de las superficies de riego. Este enfoque implica la necesidad de trazar una tendencia basada en las superficies identificadas por región en los Censos de 1976, 1997, 2007 y 2021. Para llevar a cabo esta tarea, se requerirá la utilización de un shapefile que represente las cuencas, incorporando la información recopilada previamente.

- Cálculo de la evapotranspiración de cultivo (ET_c) por cuenca
Para calcular la evapotranspiración de cultivo, expresada en mm, se utiliza la siguiente ecuación, y se calcula de manera mensual para cada cuenca.

$$ET_c = ET_0 \times K_c$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración potencial o de referencia (mm)

K_c = Coeficiente de cultivo (adimensional)

- Cálculo evapotranspiración de referencia (ET_0) por cuenca
Este valor corresponde a la pérdida de agua por evaporación y transpiración desde un cultivo de referencia en producción y sin déficit de agua en el suelo. Este parámetro está relacionado con el clima y entrega una referencia sobre los

aportes hídricos requeridos por la planta, ya sea mediante la precipitación o por riego complementario. Estos valores se obtienen de la siguiente forma:

- i) Como datos históricos se toma los datos obtenidos del Balance Hídrico Nacional elaborado por la DGA (2022).
- ii) Para ajustar las series se considera la evapotranspiración de referencia elaborada por AGRIMED (2015), el cual tiene cobertura para todo Chile; el cual fue elaborado según el método de Penman-Monteith, en base a datos recopilados del período 1980-2010, obteniendo una cartografía climática de alta resolución espacial (1 x 1 km).
- iii) La proyección de la evapotranspiración se realizó con los datos obtenidos del MCG-CSIRO.

De esta manera se obtienen valores mensuales expresados en mm/día, calculando la ET0 mensual total para cada cuenca, cruzando dicha fuente con el shapefile de cuenca y ponderando los datos con la superficie proporcionalmente ocupada.

- **Determinación de los coeficientes de cultivo (Kc)**
Con respecto a los coeficientes de cultivo, estos son similares para las especies de un mismo grupo. Por lo anterior, para cada región se calcula un valor de Kc por grupo de cultivo identificado en el análisis de superficie agrícolas.

El valor de Kc por grupo de cultivo y región se establece a partir de la identificación de la especie o cultivos mayoritarios de la zona de análisis, para ello se considera las tablas por secciones de cultivos del VII Censo Agropecuario (INE, 2021) y los distintos Catastros Frutícolas de la ODEPA para las distintas regiones, de esta forma se ponderan los pesos dentro del mismo según la superficie ocupada. Además, cabe recordar que se pretende determinar las evapotranspiraciones de cultivo asociadas a cada mes del año. Estos valores de Kc por grupo de cultivo se obtienen de DGA (2017).

Estimación de la demanda neta de riego

Las necesidades netas de riego se determinan a partir de la siguiente ecuación:

$$NN_{mesj} = ETc_{mesj} - Pef_{mesj}$$

Donde:

NN_{mesj} = Necesidad neta de riego del mes j (mm/mes)

ETc_{mesj} = Evapotranspiración del cultivo del mes j (mm/mes)

Pef_{mesj} = Precipitación efectiva del mes j (mm/mes)

Es importante mencionar que en el caso que la precipitación efectiva sea mayor a la evapotranspiración o de cultivo, se asume que la NN es nula.

- Cálculo de la Precipitación efectiva (P_{ef})
 Para el cálculo de la precipitación se utiliza la metodología de Blaney y Criddle modificada por Horacio Merlet y Fernando Santibañez el año 1986, la cual relaciona la precipitación efectiva (P_{ef}) con la precipitación media mensual (P_{mm}) por medio de una curva representada mediante la siguiente ecuación:

$$P_{ef} = -0,0015 * P_{mm}^2 + 0,9981 * P_{mm} - 4,4574$$

Para el cálculo de la demanda bruta de riego, se implica el método de riego utilizado en cada caso. Esto se cuantifica utilizando el factor eficiencia de riego. La eficiencia de riego (E_f) de los cultivos será la correspondiente a nivel intrapedal, esto es, a nivel de potrero. La E_f varía según el método de riego empleado, y los coeficientes de eficiencia se utilizan según CNR (2015).

$$DNriego_i = \sum_{j,l=m}^n \left(\frac{((ET_{0\ i,j} * K_{c\ j,k,l}) - P_{ef\ i,j}) * Ariego_{i,l}}{100} \right)$$

$DNriego_i$ = Demanda neta de riego de la zona de riego i ($Mm^3/año$)

$ET_{0\ i,j}$ = Evapotranspiración de referencia de la cuenca i del mes j (mm/mes)

$K_{c\ j,k,l}$ = Coeficiente de cultivo del mes j de la región k para el grupo de cultivo l (adimensional), donde $i \in k$.

$P_{ef\ i,j}$ = Precipitación efectiva de la cuenca i del mes j (mm/mes).

$A_{i,l}$ = Superficie agrícola de la cuenca i del mes j (mm/mes)

Estimación de la demanda bruta de riego

Por último, para cada cuenca se determina la demanda bruta de riego mediante la multiplicación de las tasas de riego por la superficie bajo riego. Esta demanda constituye el aporte hídrico necesario a nivel de parcela a incorporar mediante riego para el correcto desarrollo productivo de las superficies agrícolas, con un rendimiento óptimo.

- Cálculo de la tasa de riego por cuenca (TR)
 En las áreas bajo riego, se determina la tasa de riego (TR), la cual se ve influenciada por el método de riego aplicado en cada caso, esto es:

$$TR_{mesj} = \frac{NN_{mesj}}{E_f} \times 10$$

Donde:

TR_{mesj} = Tasa de riego del mes j ($m^3/ha/mes$)

NN_{mesj} = Necesidades netas de riego del mes j (mm/mes)

Ef = Eficiencia de aplicación de riego (%)

- Determinación de la Eficiencia de riego (Ef)

Para determinar la demanda bruta es necesario aplicar el factor de eficiencia de riego, siendo la eficiencia de riego de los cultivos correspondiente a nivel intrapredial, es decir a nivel potrero.

Las eficiencias de aplicación de riego de referencia en el presente estudio corresponden en principio a las aplicadas actualmente en los proyectos postulantes a la Ley nº 18.450 de Fomento al Riego, que se presentan en el cuadro siguiente:

Método de riego	Eficiencia de aplicación
Tendido	30%
Surcos	45%
Bordes	50-60%
Pretilles	60%
Tazas	65%
Borboteo	70%
Aspersión	75%
Microjet	85%
Microaspersión	85%
Goteo	90%

Ya que el CENSO y ODEPA también entregan información respecto la distribución de las eficiencias de riego, se calcula la eficiencia por comuna a partir de los Censos de 1997, 2007 y 2021. Luego, el Catastro Frutícola de ODEPA proporciona porcentajes según método de riego y también se calculan las eficiencias por comuna. Se selecciona la mayor eficiencia de riego, procurando limitarla siempre a un valor de 85% y a un valor mínimo de 30% a nivel comunal.

La demanda bruta de riego $DBriegoi$ se expresa de la siguiente forma:

$$DBriegoi = \sum_{j=m}^n \left(\frac{((ET_{0i,j} * K_{c j,k}) - P_{ef i,j}) * A_{i,k}}{Ef_k * 100} \right)$$

Donde:

$DBriego_i$ = Demanda bruta de riego de la zona de riego i (miles de m³/año)

$ET_{0\ i,j}$ = Evapotranspiración de referencia de la zona de riego i del mes j (mm/mes)

$K_{c\ j,k}$ = Coeficiente de cultivo del mes j para el grupo de cultivo k (adimensional).

$P_{ef\ i,j}$ = Precipitación efectiva de la zona de riego i del mes j (mm/mes)

$A_{i,k}$ = Superficie agrícola de la zona de riego i del grupo de cultivo k (hectáreas)

Ef_k = Eficiencia de aplicación de riego (%) para el grupo de cultivo k.

Por último, para la proyección de la demanda agrícola a futuro, se realiza el proceso de obtener datos esenciales como la evapotranspiración y la precipitación efectiva para los años correspondientes, a partir de la Homologación del Balance Hídrico Nacional 2022, en lo cual se utilizará el Modelo de Circulación General representativo de la región determinado para representar la oferta. Tanto las superficies como la eficiencia de riego, se proyectan en función de la tendencia obtenida a partir de los datos históricos, con esto, se obtienen valores para los años futuros correspondientes. Este ajuste permite reflejar con precisión las variaciones en las condiciones agrícolas a lo largo del tiempo. Con estos datos proyectados, se replica la misma metodología para obtener la demanda actual.

Con todo lo anterior, será posible realizar una determinación más precisa de la demanda bruta de riego para el futuro. Este enfoque integral, basado en la evolución de las superficies de riego y las condiciones climáticas a lo largo de las décadas, brinda una perspectiva más completa y actualizada para informar las decisiones estratégicas en el manejo del recurso hídrico en el ámbito agrícola.

2.1.4 Uso Pecuario

La metodología para estudiar la demanda hídrica del uso pecuario en Chile implica evaluar el consumo de agua necesario para distintas especies de ganado, incluyendo bovinos, porcinos, ovinos, caprinos, aves y otras especies menores. El análisis se enfoca en estimar la demanda actual y proyectarla hacia el futuro.

Dentro de las fuentes utilizadas para el cálculo de la demanda pecuaria se encuentra la siguiente información:

- VIII Censo Nacional Agropecuario 2020-2021 (INE Chile)
- VI Censo Nacional Agropecuario, año 1997 (INE Chile)
- Encuestas de ganado bovino (2019), ovino (2017), y caprino (2017), y existencias de porcinos y broilers del año 2023. Esta información es proporcionada por ODEPA.

- Tablas de equivalencia de requerimientos de agua para diferentes producciones pecuarias:
 - Decreto 177 del MOP (2012). Aprueba usos no contemplados en la Tabla de equivalencia entre caudales de agua y usos del Decreto n°743, del año 2005. También proporciona ratios de consumo en producción avícola.
 - Resolución 1431 de la DGA, año 2015. Aprueba uso no contemplado en la Tabla de equivalencia entre caudales de agua y usos del Decreto Supremo n° 743, de 2005. Especifica ratios de consumo en producción porcina.
 - Fundamentos de la producción ovina en la región de la Araucanía, publicación del INIA (2012)
 - Reporte huella hídrica en Chile: Sectores prioritarios de la cuenca del Río Rapel (DGA-FCH, 2016). Proporciona equivalencia de consumo de agua en producción bovina lechera.

Para la estimación actual, con la información de cabeza de ganado por distrito censal, se considera el consumo unitario de agua por animal o cabeza de ganado, junto a las tasas de consumo de agua establecidos por el MOP, DGA e INIA. El alcance de esta estimación abarca los requerimientos hídricos en la producción animal nacional, excluyendo los consumos relacionados con centros de procesamiento animal.

A partir de la información proporcionada por ODEPA, se actualizan las cifras de ganado a la fecha de referencia actual, y se determina la tendencia a partir de dos fuentes adicionales: las encuestas de ODEPA y el censo del año 1997. En el caso de regiones y/o tipo de ganadería donde no se disponga de datos actuales, se realizará una estimación por tendencia de los registros del censo de 1997 y 2021. Esto es, del censo VI agropecuario se extraerá el número de cabezas de ganado a nivel de distrito censal, de forma análoga a los realizado para el censo del año 2007 y con ambos valores se proyectó la cantidad de animales a 2023 en cada distrito, mediante la función de cálculo “TENDENCIA” en Excel.

La metodología emplea una fórmula para calcular la demanda pecuaria, multiplicando el número de cabezas de ganado por tasas de consumo unitarias. Se utilizan datos del Censo Nacional Agropecuario y encuestas del INE más actualizados de referencia.

En conclusión, para la proyección futura de la demanda, se considera la evolución histórica del número de cabezas de ganado, manteniendo constantes las tasas de consumo de agua por animal. Se proyecta el número de animales utilizando datos históricos y herramientas de pronóstico. La demanda futura se calcula de manera similar a la actual, multiplicando las cabezas de ganado proyectadas por las tasas de consumo correspondientes.

2.1.5 Uso Forestal

La metodología para el estudio de la demanda hídrica del uso forestal, dado el alcance del presente estudio, solo se estimará uso productivo (plantaciones forestales). Para el uso productivo, se considera la demanda de agua de las plantaciones forestales, principalmente de especies exóticas como *Pinus radiata* y *Eucalyptus* spp. La evapotranspiración de estas plantaciones, un factor clave en la demanda de agua, se calcula a partir de la precipitación anual y factores como la intercepción de la lluvia por la vegetación. Esta metodología incluye la recopilación y análisis de datos sobre la evapotranspiración de plantaciones forestales, utilizando estudios experimentales y modelos como el de Zhang et al. (2001).

Las fuentes documentales utilizadas son las siguientes:

- Cubiertas del Catastro de Usos de Suelo y Vegetación, de la corporación Nacional Forestal (CONAF). Contiene el levantamiento de los usos de suelo; el interés de esta fuente recae en el objetivo de identificar espacialmente las plantaciones forestales a lo largo del país.
- Relación entre precipitación media anual y evapotranspiración anual en plantaciones forestales del estudio “Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale” de Zhang et al. (2001).

En la Tabla 2.1-1 se presenta el catastro de uso de suelos y vegetación entregado por CONAF.

Tabla 2.1-1 Actualización Catastro uso de suelo y vegetación - CONAF

Región	Año
Arica y Parinacota	1997
Antofagasta	1997
Atacama	1997
Coquimbo	2014
Valparaíso	2013
Metropolitana	2013
O'Higgins	2013
Maule	2016
Ñuble	2015
Biobío	2015
La Araucanía	2014
Los Ríos	2014
Los Lagos	2013
Aysén	2011
Magallanes y la Antártica Chilena	2005

Fuente: Elaboración propia en base a CONAF

A partir de los datos de evapotranspiración (mm/año) correspondiente a cada superficie (hectáreas) de plantación forestal, se aplica la ecuación para calcular la demanda hídrica del uso forestal en metros cúbicos al año.

Además, se proyecta la demanda futura, teniendo en cuenta factores como los incendios forestales, el cambio en la superficie de bosques y plantaciones, y las tendencias históricas en el uso de la tierra. Se utiliza información de CONAF y otras fuentes para estimar las áreas de uso forestal y su variación a lo largo del tiempo. La metodología implica el uso de sistemas de información geográfica para mapear y analizar estas áreas, y la aplicación de modelos para proyectar la demanda hídrica en el futuro.

Para estimar las áreas a nivel subcuenca, se utiliza la proporción entre el área a nivel subcuenca y el área a nivel comunal calculadas previamente por medio de SIG. Una vez se estimen todas las áreas de los distintos usos en todo el periodo analizado, se procede con la aplicación de la metodología actual según sea uso productivo o uso no productivo.

2.1.6 Uso Acuícola

La metodología para estudiar la demanda hídrica del uso acuícola en Chile comienza destacando la relevancia del país en la acuicultura mundial, especialmente en la producción de salmón, donde enfrenta desafíos como la anemia infecciosa del salmón (ISA) y las floraciones de algas nocivas. El enfoque metodológico para estimar la demanda hídrica actual y futura se centra en los centros acuícolas que utilizan agua dulce, especialmente aquellos dedicados a la producción de salmónidos.

Las fuentes utilizadas corresponden a:

- Centros acuícolas en tierra inscritos en el RNA con captación de agua y producción por especie de 1996-2023 (información solicitada por SERNAPESCA).
- Cosechas de centros de acuicultura, por especie y región, de los anuarios

En Chile, la distribución de centros acuícolas que utilizan agua dulce, especialmente para la producción de salmónidos, es analizada detalladamente. Se seleccionan estos centros basándose en la claridad de su fuente hídrica, descartando aquellos con fuentes desconocidas. Utilizando datos de SERNAPESCA y tasas de consumo de agua estipuladas por normativas, se calcula la demanda hídrica anual por centro, multiplicando la producción en toneladas de cada cultivo por su tasa de consumo de agua característica. Adicionalmente, se proyecta esta demanda, considerando factores como evolución de exportaciones, emergencias sanitarias y avances en eficiencia productiva. Se enfatiza la importancia de los Sistemas de Recirculación en Acuicultura para reducir el consumo de agua, anticipando una

implementación progresiva de estos sistemas y una disminución gradual de las tasas de consumo, especialmente en salmónidos.

En resumen, la metodología se enfoca en la identificación y análisis de centros acuícolas que utilizan agua dulce, con especial atención en la producción de salmónidos, y calcula la demanda hídrica actual y futura considerando las tasas de consumo de agua y las tendencias en eficiencia y tecnología.

2.1.7 Uso Minero

La metodología para el estudio de la demanda hídrica en la minería chilena comienza con la evaluación detallada de la situación actual. Esto implica realizar un completo catastro georreferenciado de las faenas mineras activas en el país. La clasificación abarca desde la gran minería del cobre hasta la minería metálica no cuprífera, pasando por la minería no metálica y operaciones específicas como la fractura hidráulica. Para cada una de estas faenas, se identifican las fuentes hídricas principales, ya sean continentales, subterráneas o marinas.

La recopilación de datos se enfoca en la producción anual, tasas unitarias de consumo de agua y leyes de minerales para cada faena. Con esta información, se procede a calcular el consumo actual de agua, teniendo en cuenta la producción, las tasas de consumo específicas y las leyes de los minerales involucrados. Este paso es crucial para comprender el panorama actual del uso del agua en la minería chilena y sus impactos.

Las fuentes documentadas en detalle fueron las siguientes:

- Proyección del consumo de agua en la minería del cobre 2021-2033 (COCHILCO).
- Proyecciones de agua y energía en la minería del cobre al 2033 (COCHILCO).
- Producción Chilena de cobre 2003-2022. Proporciona información, en formato Excel, sobre la producción chilena de cobre por empresa y productor, entre otros minerales.
- Anuario de estadísticas del Cobre y Otros minerales 2003-2022. Datos estadísticos consumo de agua fresca (COHILCO). Principal aporte son las tasas unitarias de consumo de agua fresca por región (caudales de consumo de agua fresca proyectados por región (l/s) y factores de uso de agua en minería del cobre).
- Análisis de variables claves para la sustentabilidad de la minería en Chile (COCHILCO, 2014). El documento proporciona información relativa a factores de uso en la minería del cobre, según tipo de proceso y por región.

- Anuario de la minería de Chile 2022, proporciona información de las principales faenas mineras por región y coordenada, y producción al año de la publicación, por región y por tipo de mineral extraído.
- Atlas de faenas mineras existentes en el territorio nacional (SERNAGEOMIN).
- Evolución de las reservas y recursos de cobre, molibdeno, oro, plata, nitrato y yodo en Chile (SERNAGEOMIN).
- Estadísticas de producción cobre, oro, plata, molibdeno y combustibles. Producciones anuales según mineral y empresa.
- Mapa minero en línea a través de la página oficial SONAMI.
- Minería en cifras actual proporcionado por el Consejo Minero.
- Extracciones de agua de empresas asociadas al consejo minero. Visualizaciones en línea de los consumos de agua en la minería (solo faenas cuyas compañías pertenecientes a la asociación).
- Productividad en la gran minería del cobre – informe preliminar de la comisión nacional de productividad (CNP). Información útil para la evolución de las leyes minerales de cobre (valores medios a nivel nacional).
- Decreto 743: Fija tabla de equivalencias entre caudales de agua y usos que refleja las prácticas habituales en el país en materia de aprovechamiento de aguas (MOP, 2005). Incorpora datos asociados a tasas unitarias de consumo de agua para obtención o proceso de diferentes minerales.
- Determinación de tasas características de uso del agua según sector y rubro (DGAUCH, 2005). Presenta datos útiles referidos a tasas unitarias de consumo de agua para la minería del cobre y la plata, entre otros.

Mirando hacia el futuro, la metodología incluye la proyección de la demanda hídrica, utilizando análisis de series de tiempo basados en datos históricos de producción minera, se proyecta la demanda futura. Un aspecto clave en esta fase es la consideración de la evolución de las tasas unitarias de consumo de agua. Se asume que habrá mejoras en la eficiencia del uso del agua, lo cual es vital para la sostenibilidad a largo plazo. Además, se evalúa la capacidad de las plantas desalinizadoras existentes y en proyecto, para determinar cómo podrían contribuir a satisfacer las necesidades futuras de agua en la minería.

2.1.8 Uso Industrial

La metodología para estudiar la demanda hídrica industrial en Chile se orienta hacia la comprensión de los patrones de consumo en diferentes sectores, dada la falta de una fuente oficial y actualizada que cuantifique directamente esta demanda. Centrándose en la industria manufacturera, esta metodología abarca un análisis detallado de los efluentes industriales y el consumo de agua, tanto de fuentes propias como de la red de agua potable.

Para estimar la demanda actual, se utiliza información del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes y del Sistema de Facturación Clientes y Coberturas. Este enfoque indirecto, basado en registros de efluentes, permite estimar la demanda hídrica industrial considerando el grado de recirculación y el uso consuntivo en diferentes sectores.

De las fuentes documentadas se incluyen las siguientes:

- Registros de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), relativos a información de fuentes reguladas de residuos industriales líquidos recibidos por los sistemas SACEI (Sistema de Autocontrol de Establecimientos Industriales) y RETC (Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes). Esta información incluye lo relativo a la norma DS 90/00 (Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociado a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales) y a la norma DS 46/02 (Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas). Para aquellas empresas que presentaban mayor o menor cantidad de datos mensuales se tomaron las siguientes consideraciones:
 - Si en un mes presentaban menos datos que la cantidad de días del mes, se calcula el promedio de los valores, en $m^3/año$, y se multiplicó por la cantidad de días del mes.
 - Si un mes presenta más datos que la cantidad de días del mes, se calcula promedio y se multiplica por el número de días del mes.
 - Así se estima un caudal mensual y anual para cada planta.
- Registros del Sistema de Facturación Clientes y Coberturas (SIFAC III) de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Recoge la información de facturación ($m^3/año$) de agua potable y de aguas servidas de clientes regulados por empresa sanitaria y localidad; distingue entre facturación a clientes residenciales, comerciales, industriales, institucionales y no asociados a inmueble. Se trabaja con los datos por tipo de servicio “sólo Aguas Servidas”.

Además, la metodología incluye un análisis de proyección de la demanda futura, utilizando series de tiempo para prever el consumo basado en el Producto Interno Bruto sectorial. Este enfoque permite integrar el comportamiento histórico de la producción industrial y su relación con el consumo de agua, proporcionando una base sólida para prever las necesidades futuras de recursos hídricos en la industria.

2.1.9 Generación Eléctrica

La metodología para estudiar la demanda hídrica en la generación eléctrica en Chile se centra en analizar los distintos sistemas eléctricos del país y su respectivo uso del agua. Esta metodología se fundamenta en la revisión de antecedentes hídricos específicos para la generación eléctrica, identificando las fuentes hídricas, los tipos de uso del recurso hídrico (consuntivo y no consuntivo), y las formas de uso del agua en la generación de energía (directo e indirecto).

La generación eléctrica en Chile se realiza principalmente a través de cuatro sistemas interconectados: SING, SIC, SEA, y SEM, además de dos sistemas eléctricos menores. Cada uno de estos sistemas tiene características únicas en términos de capacidad instalada, tipos de centrales y su ubicación geográfica. La metodología aborda la estimación de demandas actuales de agua derivadas de la actividad de generación de energía, utilizando información de fuentes como la Coordinador eléctrico nacional (CEN) y la Superintendencia de electricidad y combustibles (SEC).

En términos de la proyección de la demanda futura, se utiliza el tratamiento de Series de Tiempo basadas en datos históricos de generación, ajustando los parámetros necesarios para reflejar la realidad operacional y geográfica de las centrales.

Como fuente hídrica en la generación eléctrica, se considera principalmente todas aquellas dentro del dominio continental, esto es, aguas subterráneas y aguas superficiales. Es importante señalar que, en muchos casos de generación térmica, la principal fuente de agua corresponde a masas de agua marina, cuyos volúmenes estarían fuera del dominio de balance de aguas continentales.

Por otro lado, con respecto a las centrales hidroeléctricas de pasada, que hacen uso de aguas provenientes de la infraestructura sanitaria, se considera que los volúmenes correspondientes ya han sido imputados al uso sanitario, por lo que tampoco se agregan a la demanda hídrica para generación eléctrica.

Con respecto a los tipos de usos (consuntivo y no-consuntivo) se considera que, para el caso de centrales hidroeléctricas, tanto de embalse como de pasada, el uso del recurso es no-consuntivo. Para el caso de centrales térmicas que hacen uso de aguas continentales para refrigeración, se trata de un uso consuntivo y no-consuntivo; hay casos en que parte del agua obtenida de cierta fuente es devuelta, y el resto se consume en forma de vapor.

En cuanto a las formas de uso del recurso hídrico, es importante aclarar que:

- Por uso directo del agua para generar, se entenderá como todo aquel en que ella es la materia a partir a partir de cuya energía potencial y cinética se efectúa la

conversión de esta en energía eléctrica. Adicionalmente, pueden contemplarse las centrales térmicas que generan a partir de turbinas a vapor, sistema térmico en que el agua es el fluido del trabajo, como uso directo.

- El uso directo del agua corresponderá a los casos en que ella sea parte del proceso de generación, tal como el caso de la refrigeración. Esto implica centrales térmicas, sean ellas fósiles, geotérmicas, de biomasa o de concentración solar de potencia. Los volúmenes de agua requeridos desde las fuentes dependerán de si el sistema es abierto (*once through cooling*) o cerrado (con recirculación).
- El uso indirecto del agua para generar energía se puede ver reflejado en una central que basa su generación en ciclos térmicos, el principal uso de agua corresponde al proceso de refrigeración; para el caso de centrales con turbinas a vapor, una vez que este pasa a través de la turbina, el gas debe ser enfriado nuevamente para llevarlo a fase líquida antes de ser nuevamente calentado.

Las principales fuentes de consulta es la documentación y datos aportados por las siguientes entidades:

- Coordinador eléctrico nacional (CEN)
 - Datos estadísticos de la capacidad instalada de generación (a la fecha), proyectos de generación y transmisión en construcción, generación bruta.
 - Sistemas interconectados en operación
 - Capacidad instalada de generación y central existentes en operación
 - Ubicación georreferenciada de las centrales pertenecientes a los distintos sistemas interconectados.
 - Datos técnicos específicos de cada sistema (tipos de centrales, fuentes primarias de energía, potencia bruta y neta, etc).
 - De las centrales generadoras del sistema se requiere la ubicación georreferenciada de las centrales, series de tiempo de generación, datos técnicos de centrales, elevación mensual de agua en msnm, en cada embalse.
- - Superintendencia de electricidad y combustibles (SEC):
 - Potencias instaladas y caudales asociados para cada una de las centrales hidroeléctricas y centrales termoeléctricas de cada región.
 - Solicitud de las concesiones eléctricas de cada región

Además, se utiliza bibliografía adicional, nombradas a continuación:

- Freshwater Use by U.S. Power Plants. Electricity's thirst for a precious resource. Energy and Water in a Warming World Initiative. Union of Concerned Scientists. Averyt, K., J. Fisher, A. Huber-Lee, A. Lewis, J. Macknick, N. Madden, J. Rogers, and S. Tellinghuisen. 2011.
- How it Works: Water for Coal / Union of Concerned Scientist (en línea).

- Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España / Laurent Hardy y Alberto Garrido. Fundación Botín. Papeles de Agua Virtual, Nº 6. 2010.
- Turbomáquinas y Máquinas Térmicas. Fundamentos teóricos, ejemplos prácticos / JHG Ingeniería.

Para aplicar la metodología se utilizaron las siguientes bases:

- i. El año base para el cálculo estimado de la demanda hídrica actual corresponde al 2022.
- ii. Se hará un listado de las centrales que correspondan al sistema eléctrico en particular, con sus principales características.
- iii. Se filtrarán aquellos usos directos e indirectos.
- iv. Para aquellos sistemas abundantes en centrales térmicas/termoeléctricas, se consideró que: Las centrales costeras se han supuesto intensivas en el uso de agua de mar; Para las centrales termoeléctricas ubicadas en los valles, se asumió demanda consuntiva de aguas continentales de sistema abierto.
- v. A partir de las centrales que pasaron el filtro mencionado, se procedió a la estimación de las demandas correspondientes, desagregando por unidad territorial (subcuenca, cuenca y región).

En conclusión, las centrales consideradas corresponden a uso consuntivo. Importante destacar que las estimaciones son generadas en base a las Series de Tiempo de generación de las cuales se dispuso. A continuación, se presenta la metodología de cálculo para las estimaciones.

Centrales Hidroeléctricas de Embalse

Todos los parámetros que se presentan a continuación, son valores informados, ya que no se pueden inferir o estimar. Así los datos bases para un mes i son:

E_i : Energía generada (MWh) en el mes i del año base (2023)

Z_{0i} : Elevación (msnm) de agua en embalse al inicio del mes i del año base

Z_{fi} : Elevación (msnm) de agua embalsada al final del mes i del año base

$Z_{\min_op}$: Elevación (msnm) mínima de operación del embalse

P : Potencia instalada de la central (MW); indistintamente, se ha considerado la potencia bruta o la neta, dependiendo de la disponibilidad de la información

En base a los parámetros presentados anteriormente, la estimación de la demanda se calculó de la siguiente forma:

1. Cálculo de la elevación media mensual de generación (Z_{gi}). Para cualquier mes i , corresponde al promedio entre Z_{0i} y Z_{fi} . En términos algebraicos:

$$Z_{gi} = \frac{Z_{fi} + Z_{0i}}{2}$$

2. Cálculo de la altura media mensual de generación (H_{gi}). Para el mes i , este valor viene dado por la diferencia entre Z_{gi} y $Z_{\min_op}$, es decir:

$$H_{gi} = Z_{gi} - Z_{\min_op}$$

3. Estimación del caudal mensual medio generado (Q_{i_mmg}). Para un mes i , se puede estimar a partir de la expresión usual de potencia hidroeléctrica:

$$P_i = \gamma \cdot Q_{mmg_i} \cdot H_{gi} \cdot \eta ; P_i = \frac{E_i}{t_i}$$

$$\therefore Q_{mmg_i} = \frac{E_i}{t_i} \cdot \frac{1}{\gamma \cdot H_{gi} \cdot \eta}$$

donde:

- E_i Energía informada generada en el mes i ; por tanto, se tratará de GWh/mes $_i$, MWh/mes $_i$, etc.
- t_i Tiempo de generación. Corresponde a mes, ya que las SdT de generación se informan y trabajan a esta escala de tiempo.
- γ Peso específico del agua.
- η Eficiencia de la turbina. Suponiendo que los sistemas operan en la máxima de sus eficiencias, dependiendo del tipo de turbina de la central, los valores correspondientes a adoptar son los que se indican en la Tabla 2.1-2.

Tabla 2.1-2 Eficiencias de turbinas según tipo

Tipo de turbina	Eficiencia η	
	η_{Tipo}	η_{Adoptado}
Francis	90 - 94%	92%
Kaplan	95%	95%
Pelton	89 - 92%	91%

Fuente: JHG (s/i).

En caso de que no se dispuso de información del tipo de turbina, se utilizó una eficiencia correspondiente al promedio del adoptado, es decir, $\eta = 92,67\%$.

Centrales Hidroeléctricas de pasada

Este cálculo es el análogo al caso de las centrales de embalse, con la diferencia que, en lugar de tener que estimar alturas de generación, el dato directo corresponde a la altura de caída

con que fue diseñada la central, para el mes i en que ella genere E_i , el caudal turbinado viene dado por la siguiente expresión:

$$Q_{mmg_i} = \frac{E_i}{t_i} \cdot \frac{1}{\gamma \cdot \Delta H_g \cdot \eta}$$

Las consideraciones relativas a los parámetros involucrados son las mismas que las ya referidas en el numeral anterior.

Centrales termoeléctricas

Para las centrales termoeléctricas se ha considerado el consumo de agua destinada a los efectos de refrigeración, el cual se ha identificado como el uso hídrico más intensivo en este tipo de generadoras, según lo referido por las fuentes bibliográficas consultadas. En este sentido, destaca el uso de agua por MWh generado para la refrigeración del circuito térmico agua/vapor, en el cual se produce la expansión del gas en la turbina; el vapor de agua saliente a baja presión, es enfriado en el condensador, pasándolo a fase líquida, previo a una etapa de ebullición. Este uso de agua tiene dos componentes a saber:

- i. Volumen de retiro (V_R). En inglés llamado *withdrawal*, corresponde a la cantidad total de agua que una central toma de una fuente, sea ella un río, un lago o un acuífero, parte de la cual puede ser o no retornada a dicha fuente. Se expresa en m^3/MWh .
- ii. Volumen de consumo (V_C). Corresponde a la cantidad de agua que se “pierde” debido a la evaporación durante el proceso de enfriamiento. Se expresa en m^3/MWh .

Es decir, si V_D es el volumen que, luego de ser utilizado, es devuelto a la fuente (a la original o a otra), entonces:

$$V_R = V_C + V_D$$

Los valores a utilizar para las estimaciones de demanda de agua de generación eléctrica en centrales térmicas, se resumen en la Tabla 2.1-3

Tabla 2.1-3 Valores de V_R y V_C adoptados, en m^3/MWh

Combustible	V_R	V_C
Carbón	31,0	1,6
Gas Natural	13,7	0,7
Petróleo	24,3	1,2
Biomasa	31,0	1,6
Geotermia	7,4	5,2

Combustible	V _R	V _C
Solar (CSP)	3,1	3,1

Fuente: Elaboración propia basada en datos de Hardy-Garrido (2010).

Por tanto, la demanda consuntiva total de agua para la refrigeración en una central térmica, viene dado por V_R y E_i , donde éste último corresponde a para la generación E_i en el mes i de una determinada central térmica. En suma, el caudal asociado a dicha demanda viene dado por:

$$Q_{Ci} = V_R \cdot E_i$$

Por otra parte, la demanda de agua que se elimina en estado gaseoso (Q_{Evi}), viene dada por la expresión:

$$Q_{Evi} = V_C \cdot E_i$$

La fracción de la demanda se retorna al medio luego de su utilización (Q_{Ri}) viene dada por:

$$Q_{Ri} = V_R \cdot E_i - V_C \cdot E_i$$

$$\therefore Q_{Ri} = V_R \cdot E_i - Q_{Evi}$$

Para la metodología de demanda futura, y para efectuar las proyecciones, se ha considerado la serie histórica de generación como dato base para inferir las demandas de aguas futuras. Lo anterior exige utilizar el concepto de SdT y, a partir de cada serie, proyectar la generación futura, con base al comportamiento histórico (ciclos y tendencias) de centrales hidráulicas y termoeléctricas.

Dado el comportamiento aleatorio de las series de generación, se realizará el siguiente calculo.

$$\langle DDA_{Hidrica}^i [x\% N.C.] \rangle =]Q_{inf}^i ; Q_{cent}^i ; Q_{sup}^i [$$

donde “x” es el Nivel de Confianza (N.C.) de la proyección expresado en porcentaje, “Q” el caudal proyectado mediante un rango que entrega el límite inferior (“inf”), el valor central (“cent”) y el límite superior (“sup”), e “i” representa el i-ésimo año del horizonte previsional de la proyección.

En referencia al método de proyección propiamente tal, ella se efectuó a partir de las SdT mencionadas mediante el uso de la herramienta “Previsión, proporcionada por MS Excel 2016. A través de su uso se puede fijar el horizonte de la proyección, el nivel de confianza y la estacionalidad de la SdT, entre otros parámetros. Esta herramienta, la cual usa el algoritmo de Suavización Exponencial, se ha considerado apropiada, dado que ella se

recomienda para patrones de comportamiento aleatorio en que resulta razonable atenuar el impacto de puntos irregulares (tal como sucede en las SdT analizadas). Este método tiene como ventaja que no requiere de una gran cantidad de períodos ni de ponderaciones para lograr buenos resultados.

En cuanto al procedimiento estándar de proyección, los pasos son los siguientes:

- i. Se toma como base catastral de centrales a todas aquellas que se encuentran coordinadas y para las cuales se cuenta con SdT de generación eléctrica. A partir de dicho catastro, se efectúa el tamizado que identifica y selecciona a las centrales que hacen uso intensivo de recursos hídricos continentales, según los criterios señalados en el capítulo de demanda hídrica actual. Estas centrales son objeto de análisis y proyección de sus SdT de generación, quedando fuera las demás.
- ii. Proyección de la Sdt de generación: para cada central identificada y seleccionada, se proyecta la serie histórica de generación eléctrica correspondiente para el horizonte 2025 – 2055, a nivel mensual. De esta manera, se obtiene la serie proyectada en términos de energía generada (MWh o GWh).

Cada proyección se realiza mediante la herramienta “Previsión” de MS Excel 2023, en la cual se ajustan los siguientes parámetros:

- Horizonte máximo de la predicción (año 2055).
 - Nivel de Confianza (N.C.) de la proyección → se ha fijado en 70%, en atención en que este valor permite obtener resultados con una amplitud de banda acotada y con un nivel de confiabilidad suficiente.
 - Estacionalidad de la serie: como en general se ha visto, las SdT proyectadas no son estacionarias, por lo que no es posible definir a priori duración de estacionalidad. Por tanto, este parámetro se ha fijado caso a caso, de acuerdo a las características propias de cada proyección.
- iii. La forma genérica de la proyección para el mes “m” del año “i” del período de previsión, referida a la central “k” ubicada en la subcuenca “sc” perteneciente a la cuenca “c” ubicada en la región “r”, es la siguiente:

$$\langle E_{k,sc,c,r}^{m,i} [70\% N.C.] \rangle =] E_{k,sc,c,r}^{m,i,inf} ; E_{k,sc,c,r}^{m,i,cent} ; E_{k,sc,c,r}^{m,i,sup} [$$

donde los superíndices “inf”, “cent” y “sup”, hacen referencia a la posición de los valores estimados dentro de la banda proyectada (valor inferior, central y superior, respectivamente).

- iv. Dependiendo del tipo de central (hidroeléctrica o térmica), cada valor proyectado de generación es relacionado con la demanda hídrica correspondiente, a través de las ecuaciones y parámetros que se definieron en el capítulo de estimación de demanda hídrica actual.

Cálculo de la demanda futura para centrales hidroeléctricas

Centrales hidroeléctricas de pasada

Supóngase que para una central generadora k determinada (del tipo señalado) ya se dispone de los valores $E_{k,SC,C,r}^{m,i,inf}$, $E_{k,SC,C,r}^{m,i,cent}$ y $E_{k,SC,C,r}^{m,i,sup}$. El caudal requerido para generar las energías correspondientes (de carácter no consuntivo), viene dado por la expresión (en m^3/s):

$$\langle Q_{k,SC,C,r}^{m,i} [70\% N.C.] \rangle = \frac{1}{t_m \cdot \gamma \cdot \Delta H_g \cdot \eta_{k,SC,C,r}} \cdot [E_{k,SC,C,r}^{m,i,inf} ; E_{k,SC,C,r}^{m,i,cent} ; E_{k,SC,C,r}^{m,i,sup}]$$

donde:

m	: mes de la proyección dentro del año i
t_m	: duración del mes “ m ”
γ	: peso específico del agua
ΔH_g	: altura de caída de la central
$\eta_{k,SC,C,r}$	: eficiencia de la turbina de la central k

La agregación correspondiente a la central k para el año, de modo de obtener el caudal anual proyectado (en $m^3/año$) se obtiene aplicando la expresión:

$$\langle Q_{k,SC,C,r}^i [70\% N.C.] \rangle = 86400 \cdot \left[\sum_{m=1}^{12} Q_{k,SC,C,r}^{m,i,inf} \cdot d_m ; \sum_{m=1}^{12} Q_{k,SC,C,r}^{m,i,cent} \cdot d_m ; \sum_{m=1}^{12} Q_{k,SC,C,r}^{m,i,sup} \cdot d_m \right]$$

en que d_m es la cantidad de días que contiene el m -ésimo mes del año i .

La agregación territorial de la demanda hídrica, sean ella a nivel de subcuenca, cuenca o región, se efectúa de manera directa, identificando la pertenencia de cada territorio a la unidad inmediatamente superior.

Centrales hidroeléctricas de embalse

La lógica de cálculo se mantiene respecto a las centrales de pasada, diferenciándose solo por el hecho de que la altura de caída, en lugar de ser constante, ella es variable (depende del nivel embalsado con que se genera). Con el propósito de salvar la dificultad que significa proyectar el comportamiento aleatorio de los niveles de un embalse en particular, se optó por tomar el nivel medio histórico, a partir de los datos proporcionados por la CNE.

Cálculo de la demanda futura para centrales Termoeléctricas

Para la proyección de la demanda hídrica de este tipo de centrales, se mantiene la lógica conceptual de cálculo presentada en el capítulo de estimación de demanda actual.

Por tanto, supóngase que se ha efectuado la proyección para la generación futura de la central térmica “k”, en el m-ésimo mes del año “i” del período de previsión comprendido entre los años 2025 y 2055, donde dicha central se encuentra en la subcuenca “sc” de la cuenca “c” perteneciente a la región “r”. De este modo, se cuenta con los valores $E_{k,sc,c,r}^{m,i,inf}$, $E_{k,sc,c,r}^{m,i,cent}$ y $E_{k,sc,c,r}^{m,i,sup}$.

Sea ahora $V_{R,k}$ el volumen de retiro específico¹ de agua que la misma central k efectúa para llevar a cabo el ciclo de refrigeración. Luego, el caudal total (demanda consuntiva) que requiere la central k referida viene dado por:

$$\langle Q_{k,sc,c,r}^{R,m,i} [70\% N.C.] \rangle = V_{R,k} \cdot [E_{k,sc,c,r}^{m,i,inf} ; E_{k,sc,c,r}^{m,i,cent} ; E_{k,sc,c,r}^{m,i,sup}]$$

Por otro lado, sea $V_{c,k}$ el volumen de consumo hídrico específico² que ostenta la central k. Siendo este un valor adoptado como constante en el tiempo, la fracción del caudal consuntivo que la central k no retorna (NR) al sistema en estado líquido, viene dado por:

$$\langle Q_{k,sc,c,r}^{NR,m,i} [70\% N.C.] \rangle = V_{c,k} \cdot [E_{k,sc,c,r}^{m,i,inf} ; E_{k,sc,c,r}^{m,i,cent} ; E_{k,sc,c,r}^{m,i,sup}]$$

Dado que el volumen que retorna al ambiente en estado líquido corresponde a la diferencia entre el volumen de retiro y el evaporado (no retornado, NR), entonces el caudal asociado ($Q_{k,sc,c,r}^{Ret,m,i}$) a la descarga equivale a:

$$\langle Q_{k,sc,c,r}^{Ret,m,i} [70\% N.C.] \rangle = \langle Q_{k,sc,c,r}^{R,m,i} [70\% N.C.] \rangle - \langle Q_{k,sc,c,r}^{NR,m,i} [70\% N.C.] \rangle$$

En lo referido a la obtención de caudales anuales y agregación territorial de la demanda, el procedimiento de cálculo es análogo a lo señalado en el numeral precedente.

2.1.10 Caudal de reserva para protección ambiental y uso turístico

El caudal de reserva para protección ambiental tiene como finalidad poder mejorar o potenciar la calidad de los recursos naturales de un determinado ecosistema.

¹ Siendo V_R un parámetro que se ha supuesto constante en el tiempo, éste asocia con el volumen total requerido por la central térmica para su circuito de refrigeración. Parte del volumen total es devuelto al sistema como RIL, mientras que el resto es retornado a la atmósfera como vapor de agua, previo paso por las torres de enfriamiento.

² Cabe recordar que V_c se relaciona con la fracción del volumen total que retira la central térmica de la fuente y que por evaporación, dentro del circuito de refrigeración, no es descargada como RIL al entorno.

La metodología se centra en la conservación de ecosistemas a través de la determinación de caudales ecológicos mínimos. Se consideran factores como el porcentaje del caudal medio anual y la probabilidad de excedencia para definir los caudales ecológicos. Además, se toman en cuenta áreas protegidas como el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), Sitios Prioritarios para la Conservación de la Diversidad Biológica y Sitios Ramsar. La legislación chilena provee un marco para determinar estos caudales, considerando tanto la necesidad de conservar los recursos naturales como las demandas de uso humano.

Las fuentes utilizadas para la estimación de demanda ambiental, son las siguientes:

- La base de información utilizada para identificar las áreas de protección SNASPE, sitios prioritarios para la conservación de la diversidad biológica y sitios Ramsar, en todas las regiones del país, corresponde a:
Mapoteca de la DGA, Unidad SIG, actualizada al año 2016.
Ministerio del Medio Ambiente, División de Recursos Naturales y de Biodiversidad.
- Las estadísticas de caudales medios mensuales fueron obtenidas de las estaciones fluviométricas de la web de la DGA.

Para la estimación del caudal de conservación (protección) ambiental, definido por la resta del caudal ecológico más el de reserva por interés nacional, el cual corresponde al tramo comprendido entre el caudal ecológico y el 20% de probabilidad de excedencia. Esto permitirá mantener la mayor parte del tiempo, en su condición natural, la distribución de caudales en la cuenca y de esta manera mantener prácticamente inalterada la magnitud, frecuencia, y duración del régimen hídrico, obteniéndose de esta manera la relación que se ocupará en los cálculos.

Según lo mencionado anteriormente, el caudal de reserva para la protección ambiental, queda definido de la siguiente manera:

$$Q_{\text{reserva ambiental}} = Q_{\text{prob. De excedencia 20\%}} - Q_{\text{ecológico}}$$

Este cálculo se aplicó a las zonas de protección (SNASPE, Sitios prioritarios para la conservación de la diversidad biológica y sitios Ramsar) existentes en cada región, identificando una estación fluviométrica de referencia de la red hidrométrica de la DGA en cada caso.

Caudal ecológico

Se analizó la información de caudales históricos de las estaciones fluviométricas dentro de cada cuenca estudiada; a partir de esto, fueron aplicadas las consideraciones establecidas

en el Decreto N° 71 del 30/09/14, que modifica el Decreto N°14 del 22/5/2012, el caudal “Aprueba reglamento para la determinación del caudal ecológico mínimo” y en donde se señala lo siguiente:

- Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo, considerando como fórmula de cálculo el criterio del diez por ciento del caudal medio anual, se considerará el cincuenta por ciento del caudal de probabilidad de excedencia de noventa y cinco por ciento, para cada mes, con las siguientes restricciones:
 - a) Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es menor al diez por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo para ese mes será el diez por ciento del caudal medio anual.
 - b) Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor a diez por ciento del caudal medio anual y menor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia.
 - c) Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el veinte por ciento del caudal medio anual.
- Para aquellos cauces donde se constituyeron derechos con un caudal ecológico mínimo del menor cincuenta por ciento de caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, se considerará como caudal ecológico mínimo el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, para cada mes, con las restricciones siguientes:
 - a) Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es menor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo será el cincuenta por ciento del caudal con probabilidad de excedencia del noventa y cinco por ciento.
 - b) Para aquellos meses, en los cuales el cincuenta por ciento del caudal con noventa y cinco por ciento de probabilidad de excedencia es mayor al veinte por ciento del caudal medio anual, el caudal ecológico mínimo, en esos meses será el veinte por ciento del caudal medio anual.

La metodología subraya la importancia de preservar los patrones naturales de los ríos y su entorno para mantener su valor tanto recreativo como ecológico. Se utilizan datos de estaciones fluviométricas y otras fuentes para analizar las necesidades hídricas actuales y

futuras, con un enfoque en la sostenibilidad y el equilibrio entre el uso y la conservación del agua.

Proyección de demanda hídrica

Para las proyecciones futuras se utilizarían nuevas declaraciones de sitios prioritarios de conservación para la biodiversidad, RAMSAR y SNASPE a la División de recursos naturales y biodiversidad del Ministerio del Medio Ambiente. Sin embargo, aún no hay respuesta de planificación. Es por esto que solo se podrán calcular caudales de reserva para protección ambiental actuales y no futuros.

2.2 METODOLOGÍA APLICADA EN LA OFERTA HÍDRICA

Respecto de la oferta, se abordan en este apartado la metodología seguida en el diagnóstico de las fuentes superficiales, subterráneas y glaciares, a nivel de identificación, división administrativa y restricciones vigentes en torno al uso del agua. Seguidamente, se presenta la metodología de estimación de la oferta en la fuente (aguas superficiales) y niveles (aguas subterráneas). Finalmente, se presentan los pasos seguidos en el análisis de los derechos concedidos.

2.2.1 Fuentes

2.2.1.1 Identificación de fuentes

La identificación de fuentes superficiales y subterráneas ha sido realizada a partir de fuentes de información secundarias vinculadas a la materia. Entre estas fuentes se encuentra la Dirección General de Aguas (DGA), además de otros estudios desarrollados por diversos autores.

Respecto a las fuentes superficiales, han sido reconocidos los tributarios y principales cuerpos de aguas en la región. La información presentada considera además una representación cartográfica de la hidrografía de la región.

2.2.1.2 División administrativa

Los límites administrativos superficiales han sido reconocidos a partir de la clasificación de cuencas hidrográficas BNA (Banco Nacional de Aguas) y de la clasificación de cuencas hidrográficas DARH (Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la DGA). De esta manera, los límites fueron reconocidos a partir de las capas, en formato vectorial (SHP), “Subcuenca_BNA”, “Subsubcuenca_BNA”, “Cuencas_DARH_Subcuencas” y “Cuencas_DARH_Subsubcuencas”. A partir de las capas antes mencionadas se identificó la superficie que abarca la subcuenca y las subsubcuencas que la conforman. La información presentada considera además una representación cartográfica de dichos límites.

Resto a la delimitación administrativa subterránea, se utilizó la capa “Acuíferos_SHAC” que dispone la Mapoteca DGA. A partir de esta información se ha reconocido la superficie que comprende cada uno de los sectores acuíferos de la cuenca. La información presentada considera además una representación cartográfica de dichos límites.

2.2.1.3 Restricciones al uso

Se ha indagado sobre las restricciones al uso de agua existentes en la cuenca en sus diferentes figuras, dictadas por la administración pública. A continuación, se detallan cada uno de estos casos considerados.

- **Declaración de agotamiento de aguas superficiales**

La declaración de agotamiento es un instrumento que dispone la DGA, facultad establecida en el Artículo 282 del Código de Aguas, para señalar que, en la fuente natural de agua superficial respectiva, sea un río, lago, laguna u otro, se agotó la disponibilidad del recurso hídrico para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas superficiales de tipo consuntivo y ejercicio permanentes. Esta declaración no impide la constitución de nuevos derechos de tipo no consuntivo o consuntivo de ejercicio eventual.

- **Áreas de restricción de aguas subterráneas**

La declaración de área de restricción de aguas subterráneas (Código de Aguas 1981, Art° 65) es un instrumento utilizado por la Dirección General de Aguas para proteger Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) donde exista grave riesgo de descenso en los niveles de agua con el consiguiente perjuicio a los derechos de terceros establecidos en él, o bien, cuando los informes técnicos emitidos por el Servicio demuestren que está en peligro la sustentabilidad del acuífero. Una vez emitida esta declaración, la DGA sólo podrá otorgar derechos de aprovechamiento con carácter provisional.

- **Zonas de prohibición de aguas subterráneas**

La declaración de zona de prohibición (Código de Aguas 1981, Art° 63) es un mecanismo mediante el cual la Dirección General de Aguas protege la sustentabilidad de un acuífero. Esta declaración, a diferencia del área de restricción, se produce cuando la disponibilidad del recurso hídrico se encuentra totalmente comprometida tanto en carácter de definitivo como provisional, por lo que no es posible constituir nuevos derechos de aprovechamiento.

- **Zonas de conservación**

Las zonas de conservación bajo protección oficial son las consideradas “áreas protegidas”. Las áreas protegidas a nivel nacional son “*porciones de territorio, delimitadas geográficamente y establecidas mediante un acto administrativo de autoridad competente, colocadas bajo protección oficial con la finalidad de asegurar la diversidad biológica, tutelar la preservación de la naturaleza o conservar el patrimonio ambiental*”. En la Figura 2.2-1 se muestra las áreas protegidas y su grado de homologación de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). Además de las indicadas en dicha figura, a nivel internacional, existen otras figuras de conservación presentes en Chile: los Sitios Ramsar y las Reservas de la Biosfera.

Área Protegida / Categoría UICN	Ia	Ib	II	III	IV	V	VI
Parque Marino							
Reserva de Regiones Vírgenes							
Parque Nacional							
Monumento Natural							
Santuario de la Naturaleza							
Reserva Forestal							
Reserva Nacional							
Reserva Marina							
Áreas Marinas Costera de Múltiples Usos							

Fuente: MMA, 2020.

Figura 2.2-1 Áreas protegidas chilenas y su grado de homologación de UICN

- **Decretos de reserva**

El Decreto de Reserva es una facultad del presidente de la República que permite, a través de un decreto fundado, reservar el recurso para el abastecimiento de la población por no existir otros medios para obtener el agua, o bien, tratándose de solicitudes de derechos no consuntivos y por circunstancias excepcionales y de interés nacional; esta facultad está establecida en el Artículo 147 bis inciso 3° del Código de Aguas. Para lo anterior, es posible disponer la denegación parcial de solicitudes de derechos de aprovechamiento en tramitación.

- **Decretos de escasez hídrica**

Los decretos de escasez, facultad establecida en el Artículo 314 del Código de Aguas, se dictan con el objeto de proveer determinadas herramientas a usuarios del agua y a la población en general para reducir al mínimo los daños derivados de la sequía. Básicamente permiten a la DGA redistribuir las aguas disponibles en las fuentes naturales, en caso que no exista acuerdo entre los usuarios, y autorizar extracciones de

aguas superficiales o subterráneas sin necesidad de constituir derechos de aprovechamiento de aguas, entre otras.

El Decreto de Escasez Hídrica del MOP no provee recursos económicos, y es independiente de atribuciones de otros Servicios, como la Declaración de Emergencia Agrícola del Ministerio de Agricultura, que sí considera aportes económicos; o la Declaración de Zona de Catástrofe por Escasez Hídrica del Ministerio del Interior, siendo efectivamente esta última declaración la que permite la contratación de camiones aljibes.

- **Declaración de Emergencia Agrícola del Ministerio de Agricultura**

La declaración de Emergencia Agrícola por déficit hídrico es una herramienta del Ministerio de Agricultura para entregar ayuda y apoyo eficaz para aquellas zonas de nuestro país afectadas por la baja disponibilidad de agua. Este instrumento permite destinar recursos del presupuesto del año en curso para el financiamiento de medidas, como la entrega de forraje o de alimento para abejas, y es declarado por solicitud de cada Delegación Presidencial Regional.

La Emergencia Agrícola por déficit hídrico es declarada por el Ministerio de Agricultura a través de una resolución que determina el fenómeno climático que causa la emergencia y las comunas que se incluyen en la declaración.

- **Declaración de Zona de Catástrofe por Escasez Hídrica del Ministerio del Interior**

En el caso de producirse en el país sismos o catástrofes que provoquen daños de consideración en las personas o en los bienes, el Presidente de la República dictará un decreto supremo fundado, señalando las comunas, localidades, o sectores geográficos determinados de las mismas, que hayan sido afectados, en adelante, "zonas afectadas.

Dicho decreto permite al Presidente de la República dictar normas de excepción del Estatuto Administrativo, de las leyes orgánicas de los servicios públicos, de instituciones autónomas o semifiscales, para resolver los problemas de las zonas afectadas. En este caso, aplicado a damnificados por efecto de la escasez, permitiendo la entrega de recursos de emergencias para quienes viven en zonas rurales como el abastecimiento con camiones aljibes. Estos son contratados por las comunas, financiados por el gobierno regional, una vez que ha sido autorizado por el Ministerio del Interior (Subsecretaría del interior).

- **Reducción temporal del ejercicio de DAA**

Cuando no exista una junta de vigilancia y si la explotación de las aguas superficiales por algunos usuarios ocasionare perjuicios a los otros titulares de derechos, la Dirección

General de Aguas, de oficio o a petición de uno o más afectados, podrá establecer la reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento, a prorrata de ellos (Artículo 17 del Código de Aguas).

Asimismo, si la explotación de aguas subterráneas produce una degradación del acuífero o de una parte de él, al punto que afecte su sustentabilidad, la Dirección General de Aguas, si así lo constata, de oficio o a petición de uno o más afectados, deberá limitar el ejercicio de los derechos de aprovechamiento en la zona degradada, a prorrata de ellos, de conformidad a sus atribuciones legales (Artículo 62 del Código de Aguas).

2.2.2 Análisis de DAA

A continuación, se describe el proceso metodológico para el análisis diagnóstico de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas (DAA) otorgados por la DGA.

Para el análisis de los DAA constituidos en las regiones, se utilizó la información contenida en el Catastro Público de Aguas (CPA) (mantenedor de Expedientes y Derechos Concedidos, DGA), disponible en línea en la página web del servicio, www.dga.cl.

Los pasos realizados para el análisis y sistematización de la información se detallan a continuación:

1.- Se revisó la información de DAA contenida en el CPA. En base a esto, se cuantifico el total de “DAA otorgados” y “Caudal” (l/s). En el caso de que las unidades de caudales registrados en CPA fuesen diferentes a l/s (acciones, porcentaje, otros), se registrará como una brecha de información hídrica.

2.- Se cuantificó el total de DAA y Caudal en función de las siguientes variables:

- Naturaleza del DAA, esto es, superficial o subterráneo.
- Tipo de solicitud, esto es:
 - Derechos de Aprovechamiento (ND) (artículos 130 y siguientes del Código de Aguas).
 - Regularización de Derechos (NR) (artículo 2° transitorio del Código de Aguas)
 - Derechos de Usuarios Antiguos (UA).
- Tipo del derecho y Ejercicio del derecho solicitado.

3.- Por último, en base al cruce de información descrito, se generará una cobertura SIG en formato *shapefile* para la cuenca en estudio con información relativa a cada DAA.

Los atributos que componen los shapefile de DAA son todos aquellos registros disponibles en las bases de datos antes mencionadas. Esto con el objetivo de no eliminar información que pudiese ser requerida en futuros análisis.

A partir de las coberturas descritas anteriormente, se generó una figura con la distribución en cada cuenca de los DAA superficiales y subterráneos.

2.2.3 Oferta en la fuente

Para determinar la oferta hídrica proyectada, particularmente lo que respecta a los caudales medios mensuales, se tiene como referencia las proyecciones generadas en el Balance Hídrico Nacional (DGA, 2022), donde se presentan proyecciones de escorrentía provenientes del modelo hidrológico VIC para 4 GCM del CMIP5: CCSM4, CSIRO-MK3-6-0, IPSL-CM5A-LR y MIROC-ESM. Estas simulaciones consideran actualizaciones en el modelo VIC propuestas por el proyecto Fondecyt N°11200142, *“Robust estimates of current and future water resources across a hydroclimatic gradient in Chile”*.

En dicho estudio, se implementaron bandas de elevación en el modelo VIC cada 200 m, considerando gradientes verticales de temperatura ($6.5^{\circ}/\text{km}$) y precipitación. Para el gradiente de precipitación, se utilizó una regresión lineal local a partir de la precipitación entregada por píxeles del producto CR2MET a distintas altitudes. Además, se consideraron sólo cuencas en régimen cercano al natural, dado que VIC simula hidrología natural, considerando las delimitaciones de la red hidrométrica nacional. Para este estudio, se consideró régimen natural cuando:

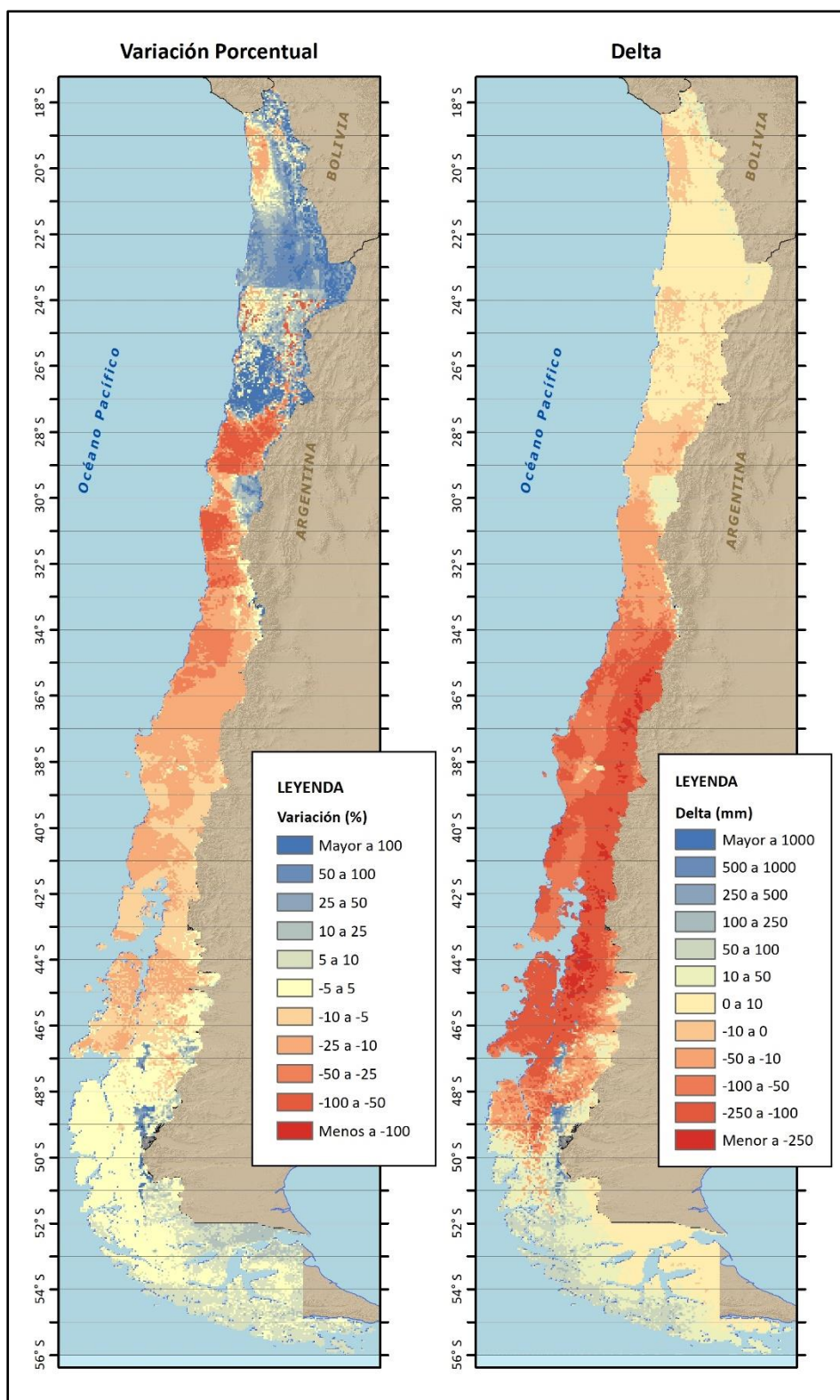
- La suma de derechos consuntivos permanentes superficiales es menor al 5% del caudal medio anual registrado en la estación fluviométrica.
- Los derechos no consuntivos no intervienen los registros fluviométricos (i.e., restitución aguas arriba del control).
- No existen embalses al interior de la cuenca que intervengan el régimen natural de las aguas.

El estudio menciona que, de las 196 cuencas obtenidas a partir de los criterios anteriores, sólo hay 2 cuencas en la región de Antofagasta y 2 en la de Atacama, lo que limita la predicción de caudales en cuencas no controladas. Por otro lado, analizando años completos y porcentaje anual de registros, se seleccionan para la calibración las cuencas con buen registro (continuo y completo) para el periodo 2005-2018, como también aquellas con buen registro en el periodo 1995-2005 para la validación, resultando una selección de 135 cuencas.

Con respecto al balance hídrico para cuencas en régimen natural, la mayor confiabilidad según el índice de bondad se logra entre las latitudes 30° y 45°S, siendo el Altiplano la zona que presenta mayor incertidumbre. Los flujos hacia la atmósfera dominan desde 33° hacia el norte, con dominancia de escurrimiento superficial entre las latitudes 33° y 45°S. Bajo esta latitud, se observa una heterogeneidad del comportamiento, evaporándose una mayor proporción en la frontera que en la costa. El régimen pluvial predomina el Altiplano y norte de Chile (en verano) y en cuencas costeras y hacia el sur del Bío-Bío. Los Andes Centrales presentan un régimen nival y pluvio-nival.

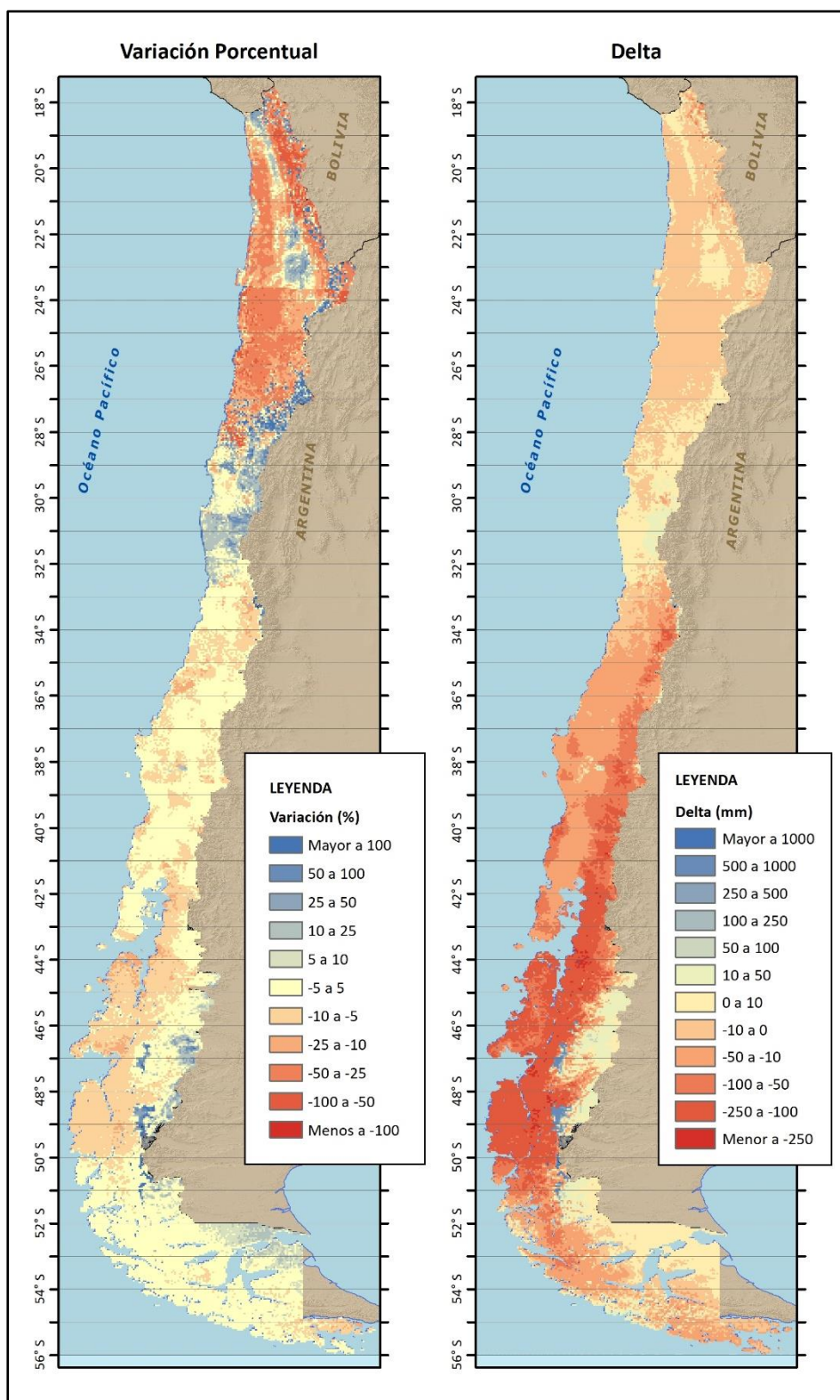
Según las proyecciones, la perspectiva nacional muestra, en general, una disminución del área glaciaria y del aporte de esta componente a la escorrentía total. Se esperan condiciones más secas para todo Chile, de hasta un 30% en algunas zonas, salvo la zona Austral, donde se espera un incremento en la precipitación anual en algunos de los GCM utilizados.

Estos 4 GCM presentan proyecciones de escorrentía diferentes, por lo que, en caso de utilizar esta información para la evolución de esta componente, se recomienda evaluar en el área de estudio uno de los escenarios más desfavorables, tal como se menciona en el estudio del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA, 2023). En la Figura 2.2-2 a Figura 2.2-5 se presentan los mapas de variaciones porcentuales y la diferencia en magnitud de escorrentía para los 4 GCM considerados en el BHN.



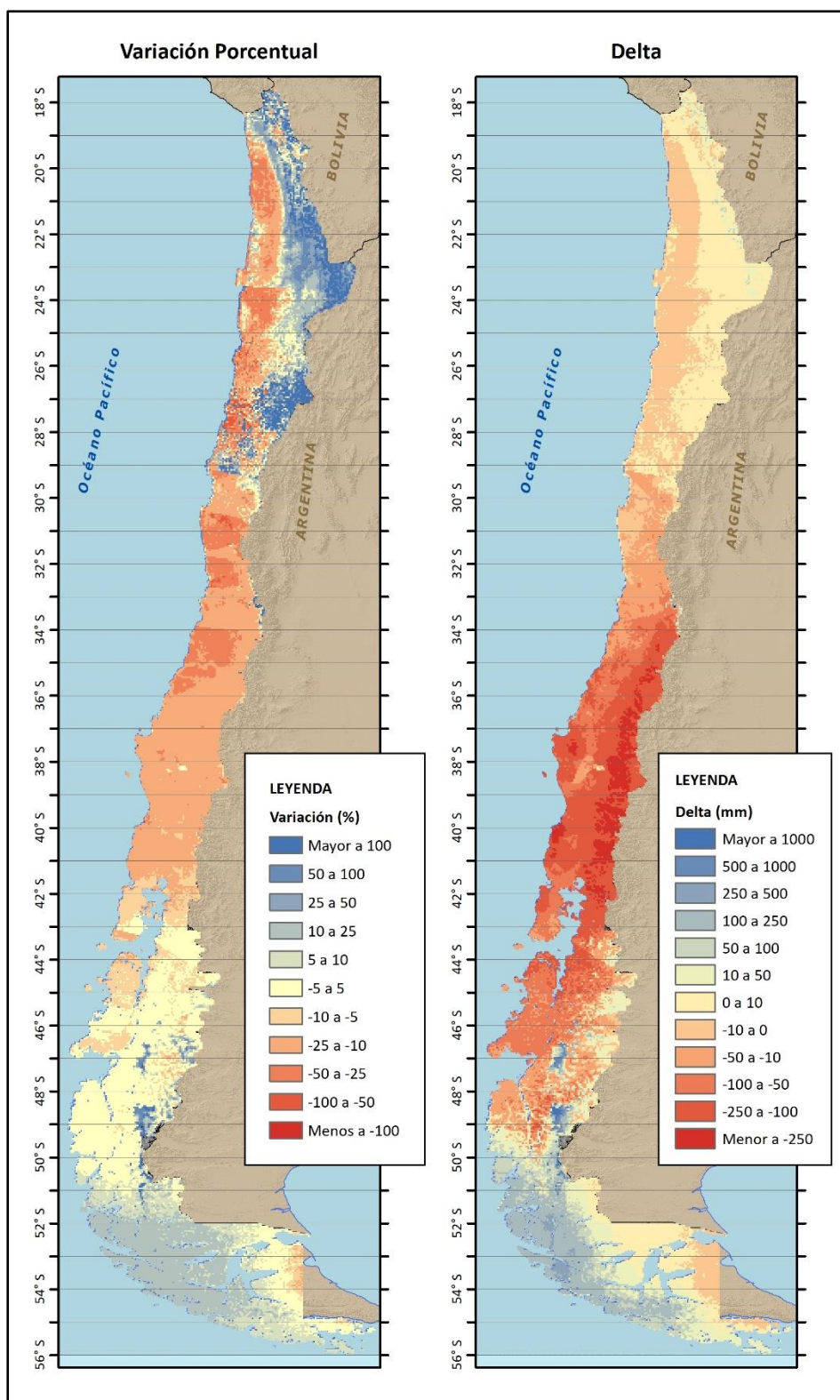
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-2 Variación de escorrentía proyectada por modelo CCSM4 para el periodo 2030-2060 respecto al histórico 1985-2015.



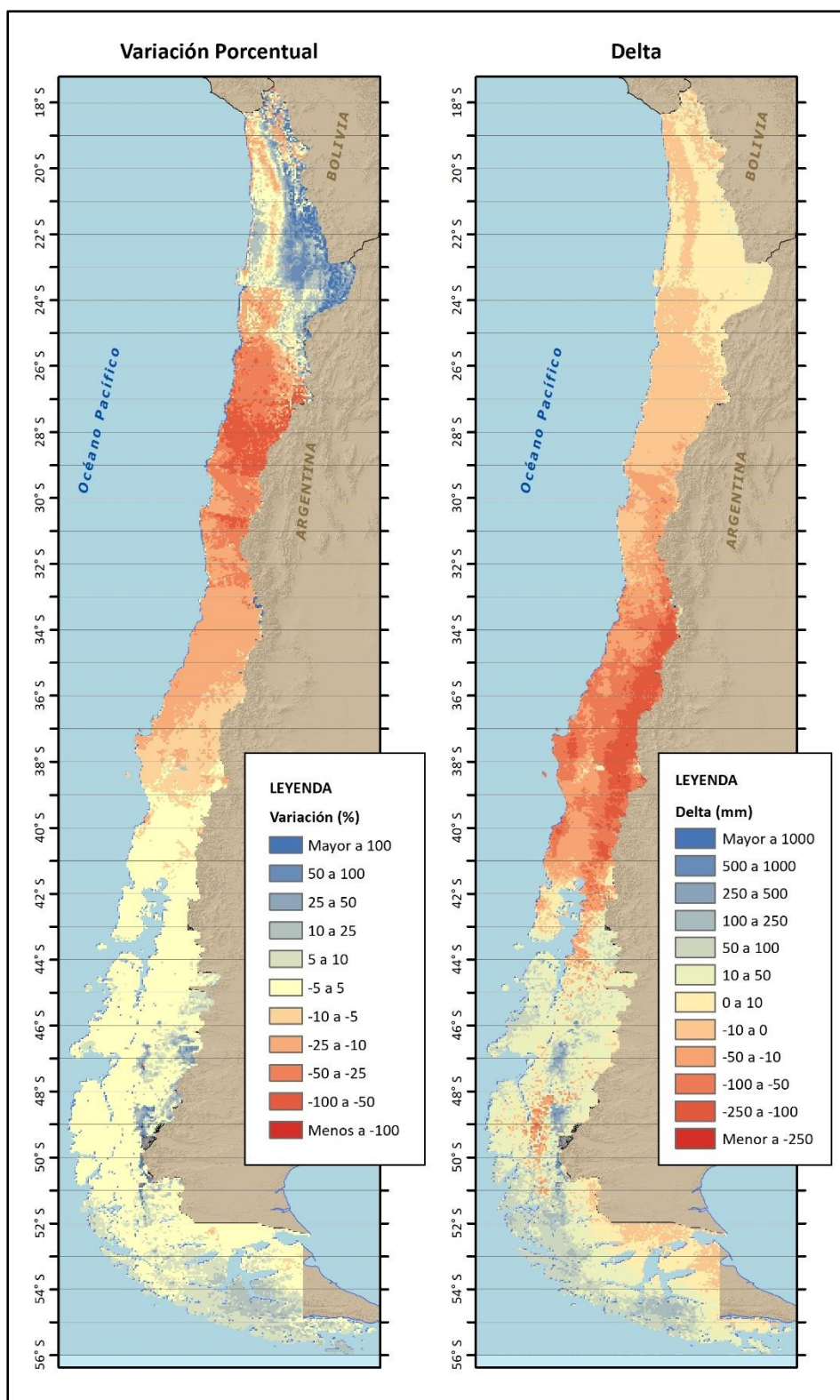
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-3 Variación de escorrentía proyectada por modelo CSIRO-MK3-6-0 para el periodo 2030-2060 respecto al histórico 1985-2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-4 Variación de escorrentía proyectada por modelo IPSL-CM5A-LR para el periodo 2030-2060 respecto al histórico 1985-2015.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2-5 Variación de escorrentía proyectada por modelo MIROC-ESM para el periodo 2030-2060 respecto al histórico 1985-2015.

2.2.4 Eventos extremos

Para el análisis de este punto fue necesario establecer qué eventos se consideran dentro del análisis, seguido de la resolución espacial de los insumos a utilizar y el rango de tiempo a considerar, tal como se especifica más adelante.

- **Eventos extremos considerados**

La base de datos de referencia que se empleó en este estudio (LA RED, 2014a) posee una lista de 36 tipos de eventos predefinidos, cuya selección se basó en la consulta no exhaustiva de diversos diccionarios y glosarios técnicos. En el presente análisis se involucrarán solo 4 tipos de eventos, cuya definición queda expuesta en la Tabla 2.2-1, de acuerdo a lo señalado por (Grupo de Investigación OSSO y La RED, 2009).

Los 4 tipos de eventos fueron seleccionados con el fin de servir como indicadores de lo que ha sido registrado históricamente en la región en materia de exceso hídrico. Para que dichos eventos hayan sido parte de la base de datos, fue necesario que: (i) el desencadenante del evento haya superado un determinado umbral, (ii) exista(n) persona(s) afectada(s), y (iii) exista trabajo periodístico que informe dicha afectación.

Tabla 2.2-1 Eventos y su definición

Evento	Definición
Aluvión	Avenidas torrenciales con arrastre de grandes cantidades de material sólido (guijarros, gravas y bloques de rocas), aplicable a aquellas regiones secas o cauces secos en los que las lluvias ocasionales los producen.
Avenida Torrencial	Flujo violento de agua en una cuenca, a veces reportado como creciente (súbito, rápido), o como torrente. Se aplica cuando en los reportes aparece como -avalancha-, cuando la avenida transporta troncos de árboles y/o abundantes sedimentos desde finos hasta bloques de roca. Pueden ser generados por lluvias, por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca. Excluye los aludes, porque éstos implican desprendimiento de hielo o nieve.
Inundación	Anegamiento o cubrimiento con agua de un terreno donde se localicen poblaciones, cultivos, bienes o infraestructura
Lluvias torrenciales	Precipitación pluvial. Incluye lluvias puntuales, persistentes o torrenciales en una región específica, así como períodos largos de precipitaciones

Fuente: (Grupo de Investigación OSSO y La RED, 2009).

De manera complementaria, se utilizó la base de datos disponible de EM-DAT (The International Disaster Database), que cuenta con la recopilación de desastres para todo el mundo desde 1988. Se utilizará esta información para complementar el listado ya establecido.

- ***Resolución espacial y periodo de análisis***

La base de datos contiene 5 niveles a escala espacial para ubicar un evento determinado, los cuales se indican a continuación:

- Región: Mayor división política utilizada para caracterizar a un evento.
- Provincia: División política intermedia para caracterizar un evento.
- Comuna: División política menor utilizada.
- Sitio: Permite precisar una o varias zonas pobladas y/o infraestructuras que hayan sido afectadas.
- Coordenadas: Cuando el evento se produce en una localidad, pueblo o ciudad específica, es posible incluir coordenadas de referencia.

La información disponible en la base de datos de LA RED (LA RED, 2014b) comprende el periodo 1973-2014. Para los fines del presente análisis, se revisará información de prensa en la Biblioteca Nacional de Chile, SERNAGEOMIN (2017), Urrutia & Lanza (1993) y noticias en los portales web de distintos medios de comunicación (escrita, radial, etc.), además de información nacional relacionada con desastres (SUBDERE, 2011). Además, para completar la recopilación de eventos ocurrido durante el año 2014 y extenderla hasta el año 2023, se buscará información de carácter periodístico, utilizando como fuente principal al periódico El Mercurio, el cual posee publicaciones diarias en línea.

- ***Caracterización de crecidas mediante análisis estadístico***

Para la caracterización de eventos extremos, se utilizó como insumo la caracterización hidrológica de crecidas para determinar el potencial de cada cuenca a eventos de crecidas. Estos eventos suelen derivarse eventos de precipitación de alta intensidad, provocando inundaciones, desbordes de ríos, entre otros. Para esto, se utilizó la información de escorrentía generada en el estudio DGA (2022), el cual generó una caracterización de la escorrentía potencial para todo Chile. Con esta información se realizó un análisis de frecuencia de los caudales mensuales y anuales de cada una de las cuencas, obteniendo así los caudales para diferentes probabilidades de excedencia.

Para realizar este análisis, el procedimiento es el siguiente:

- Se realizar el cálculo de la escorrentía total en cada cuenca, como la agregación de las celdas del producto grillado coincidentes con la unidad geográfica, considerando la porción de celda que se encuentra dentro de esta.
- Se obtienen las series mensuales y anuales de escorrentía de cada cuenca.

- Se realiza el test de Dickey-Fuller para verificar la estacionariedad de las series.
- Se ajusta cada serie a las distribuciones: Normal, Gumbel, Pearson 3, Log-Normal, Gamma, Log-Normal 3 y Log-Pearson, las que son evaluadas mediante el test de Kolmogorov-Smirnov.
- Se selecciona la distribución con mejor valor p en cada mes para cada cuenca.
- Se calcula el valor de la variable en distintos periodos de retorno con la función inversa de cada distribución seleccionada
- Los periodos de retorno considerados son, 1.05, 1.17, 2, 5, 10, 20, 100 y 1000 años, lo que en términos de probabilidades de excedencia corresponden a 95%, 85%, 50%, 20%, 10%, 5%, 1% y 0.1%.

2.2.5 Calidad de Agua

La información considerada en los informes se obtiene principalmente desde los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) en los casos donde exista el Plan para una cuenca determinada. En otros casos, cuando la información no exista en los PEGH, se obtendrá información desde: Planes de Riego, Planes Maestros de Recursos Hídricos y Diagnósticos de Calidad de Aguas Subterráneas asociados a las regiones o cuencas.

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA AL ANÁLISIS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

La metodología para el diagnóstico de la infraestructura hídrica depende en gran medida del nivel de detalle de la información disponible en cada ámbito, en relación con las obras que potencialmente podrían mejorarse y/o construirse en aras de optimizar la gestión del recurso hídrico.

A continuación, se presentan las actividades de recopilación y actualización de la infraestructura hídrica actual y proyectada hasta el año 2055 a realizar para el estudio. Además, se muestra la metodología que se desarrollará para la obtención de brechas de infraestructura estructural, no estructural y brechas de gestión. Finalmente se incluye la metodología para la identificación de iniciativas innovadoras.

3.1 ACTUALIZAR LA INFORMACIÓN RECOPIADA AL AÑO BASE 2023

3.1.1 Infraestructura hídrica

La identificación de las obras de infraestructura relativas al recurso hídrico que son relevantes para el propósito del estudio, se realizará 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 reconocerá la existencia de las obras de infraestructura presentes en las regiones sobre las cuales se realizará la caracterización y diagnóstico.

El diagnóstico de la infraestructura hídrica considerará el levantamiento de información de iniciativas de inversión, tanto públicas como privadas, 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 como Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales (SDSSR), la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), entre otros que se acuerden durante las participaciones institucionales.

3.1.2 Red hidrométrica

El catastro y análisis de la red hidrométrica se dividirá en tres secciones, las cuales se detallan a continuación. Adicionalmente, se incluirá una sección final donde se sintetizarán las brechas o barreras identificadas que impactan en la caracterización, organización de la información, interacción entre actores de la cuenca, accesibilidad y carencia de información de monitoreo hidrométrico.

3.1.2.1 Red hidrométrica de la DGA

Se accederá al sitio web de la DGA, desde donde se descargarán los *shapefile* que indican la ubicación de todas las estaciones administradas por la DGA. En base a esto, se identificarán las estaciones disponibles a nivel nacional. A continuación, se descargarán la estadística y se analizarán los registros disponibles, con especial énfasis en el periodo de monitoreo, número de registros disponibles, la vigencia de las estaciones, la elevación, las coordenadas de ubicación y el datum.

3.1.2.2 Red hidrométrica pública de otras instituciones

En base a la experiencia del consultor, se consultarán las bases de datos de monitoreo de diferentes organismos públicos, con el fin de determinar la presencia de estaciones y realizar el mismo análisis realizado para la red hidrométrica de la DGA.

3.1.3 Nuevas fuentes de agua

La identificación de nuevas fuentes de agua existentes en cada región, se realizará en base a la información primaria recabada en instancias de participación institucional, y secundaria con contenido asociado a la temática. Con especial atención a la presencia o la potencialidad de desalinización, reutilización de aguas servidas u otras.

3.2 ANALIZAR LAS INICIATIVAS PROPUESTAS EN LAS PLANIFICACIONES DEL MOP Y OTRAS INSTITUCIONES MATERIA HÍDRICA

La cartera de acciones considerará iniciativas públicas identificadas en el portal web del Banco Integrado de Proyectos (BIP) y planes de gestión territorial de diversa índole ligado al territorio estudio. El detalle se presenta a continuación.

3.2.1 Iniciativas en el Banco Integrado de Proyectos (BIP)

Para el levantamiento de información de las acciones e iniciativas de inversión en las regiones se considerará la información contenida en el Banco Integrado de Proyectos (BIP) del Ministerio de Desarrollo Social y Familia (MIDESO), disponible en línea en la página web del servicio www.desarrollosocialyfamilia.gob.cl.

La información contenida en la base de datos considera la información de diversas instituciones formuladoras tales como: Comisión Nacional de Riego (CNR), Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Municipalidades, entre otras.

La metodología empleada se basó en la identificación de iniciativas aún no ejecutadas y propuestas de Estudios, Proyectos y Programas vinculados a los recursos hídricos a nivel a nivel regional e interregional, a fin de considerar iniciativas que, si bien no son exclusivas de la región en estudio, tiene alguna incidencia sobre esta. Para esto se hizo una selección de iniciativas conforme a los siguientes criterios:

- Identificación de iniciativas a nivel regional e interregional
- Iniciativas en periodo 2010-2022.
- Iniciativas en periodo 2023-2030.
- Iniciativas vinculadas al recurso hídrico o medio ambiente.
- Iniciativas con incidencia en la región en estudio.

Cabe mencionar que en ambos casos se debió revisar las fichas IDI, que resumen los antecedentes de la iniciativa de inversión postulada, a fin de identificar y corroborar la localización geográfica de estas.

El detalle de la información se presenta en un Anexo, correspondiente a la base de datos obtenida y su sistematización. Se entregará en dicho anexo cada una de las fichas IDI de las iniciativas consideradas en el diagnóstico para el periodo 2023-2030.

3.2.2 Planes de gestión territorial

A partir del diagnóstico de la cuenca y de las actividades de participación institucional, se identificarán diversos planes, programas o estudios relacionados con la gestión de los recursos a nivel de cuenca o de región, algunos con iniciativas concretas que poseen alcance en las regiones. Algunos de los documentos revisados son:

- Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (Dirección General de Aguas, 2020-2022)
- Planes Maestro de los Recursos Hídricos (Dirección General de Aguas, 2017).
- Planes Regionales de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021 (PRIGRH) (MOP, 2012).
- Estudios Básicos “Diagnóstico para desarrollar un Plan de Riego (CNR, 2017).
- Análisis de inversión en infraestructura y gestión hídrica: Plan de inversión en iniciativas hídricas 2020-2050 (DOH, 2021)
- Entre otros.

CAPÍTULO 4 METODOLOGÍA APLICADA A LA IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS HÍDRICAS

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 numérico) o mediante algún indicador definido por los planificadores del territorio.

Para efectos del presente estudio, se estimará una brecha hídrica vinculada al balance hídrico, y brechas hídricas estratégicas, cuya diferenciación y metodología de estimación se presentan en los siguientes acápite.

4.1 BRECHAS DE BALANCE HÍDRICO

Para el presente estudio y bajo el criterio del consultor, la brecha de balance hídrico se define como la diferencia entre la oferta hídrica disponible a nivel de cuenca y la demanda potencial de agua que se produce dentro de la misma. Se considera como oferta hídrica disponible para satisfacción de la demanda aquella que posee una probabilidad de excedencia del 85% y que se asocia al otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua, mientras que la demanda potencial corresponderá a la sumatoria de demandas de agua asociada a los diferentes tipos de consumo y/o actividad productiva.

Dada la definición anterior, considerando que el nivel de estrés hídrico en una cuenca varía dependiendo de cuál es la oferta disponible para su satisfacción, se utilizarán los siguientes rangos de estrés hídrico planteados por el consultor en base a los caudales utilizados por DGA para la concesión de derechos de agua y restricciones hídricas:

- Cuencas con recursos: caudal de demanda es igual o menor al caudal de probabilidad de excedencia de 85% de la oferta.
- Cuencas con estrés hídrico estacional o local: caudal de demanda se ubica entre un 85 y un 60% de probabilidad de excedencia del caudal de oferta
- Cuencas con estrés hídrico permanente: caudal de demanda se ubica entre un 60 y un 50% de probabilidad de excedencia del caudal de oferta

- Cuencas críticas: caudal de demanda es mayor al caudal de probabilidad de excedencia de 50% de la oferta

4.2 BRECHAS HÍDRICAS DE SEGURIDAD HÍDRICA

De acuerdo a lo señalado por Bolados et al. (2023) respecto a la definición de brecha hídrica en los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) desarrollados entre 2020 y 2022, y los lineamientos incorporados en el reglamento para la elaboración de los Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas³ (PERHC) 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 regional relacionados directa o indirectamente a la disponibilidad de agua, que dificulta el cumplimiento de los objetivos de seguridad hídrica. Estos problemas serán identificados al realizar la comparación de la situación actual de la región y los ejes hídricos estratégicos. Las brechas estarán diferenciadas de acuerdo a las dimensiones de seguridad hídrica:
 - a) Seguridad hídrica para el consumo humano, la salud y subsistencia.
 - b) Seguridad hídrica para el desarrollo económico.
 - c) Seguridad hídrica para la conservación y preservación de los ecosistemas.
 - d) Seguridad hídrica que promueva la resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y la prevención de la contaminación.

4.2.1 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

³ Decreto Supremo N°58 (2023) Aprueba reglamento que regula el concurso público anual de iniciativas financiadas con cargo al fondo para la investigación, innovación y educación en recursos hídricos, del artículo 293 ter del Código de Aguas.

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.

4.2.2 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.

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.

4.2.3 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 comprometiera la integridad de los ecosistemas acuáticos y terrestres en la región.

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 4.2.3, 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.

4.2.4 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.

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 4.2.4, 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.

4.2.5 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.

4.3 METODOLOGÍA APLICADA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE BRECHAS DE INFRAESTRUCTURA

A raíz del diagnóstico del estado hídrico de la región desarrollado de acuerdo a la metodología presentada en el acápite anterior, se identificarán las brechas encontradas para el cumplimiento de los lineamientos estratégicos del estudio. La lógica aplicada estará basada en determinar las relaciones entre dichos lineamientos, los problemas identificados, las soluciones propuestas y una recopilación de la situación actual de las iniciativas relacionadas con dicho problema. La metodología utilizada deberá permitir analizar un problema presente en el territorio considerando sus principales causales, lo cual facilitará la identificación de las afecciones que estas conllevan sobre algún sector específico de la región o cuenca o sobre un grupo de actores particulares.

De acuerdo a la metodología para la toma de decisiones bajo incertidumbres (RDM por sus siglas en inglés) modificada (Lempert R. , 2019) , para el análisis de brechas de infraestructura, se realizará el primer paso, correspondiente al contexto de decisión. Los siguientes pasos serán aplicados y modificados para otras actividades a desarrollar en el presente estudio.

A continuación, se presenta la metodología RDM modificada para la identificación de brechas de infraestructura:

Paso 1: Contexto de decisión:

Para la organización del proceso cíclico e iterativo, se propone la utilización de cuatro elementos estructurantes que permiten ensamblar y clasificar la información relevante y disponible. Estos cuatro elementos se conocen como el marco DAMI (Lempert, Popper, & Bankes, 2003), basado en los siguientes componentes (DGA, 2021; MMA, 2020; Lempert R. , 2019):

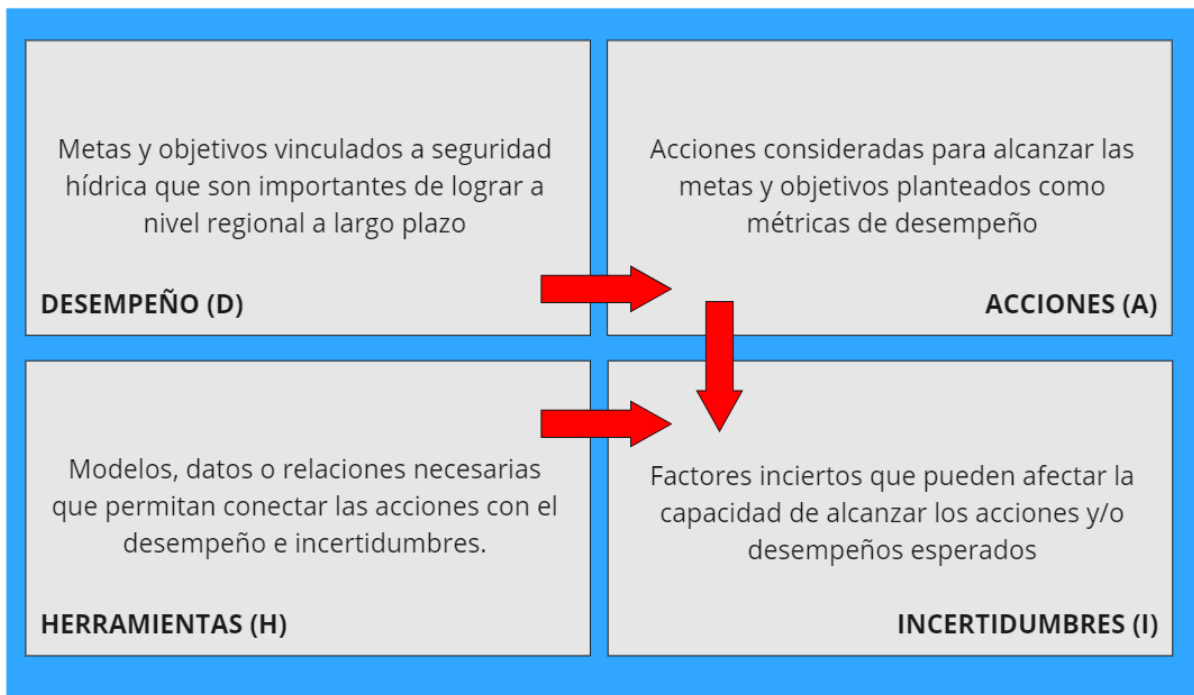
Desempeño (D): métricas y objetivos de desempeño. Estos indicadores nos ayudan a definir qué es lo que valoramos en torno a los recursos hídricos; qué objetivos de seguridad hídrica son importantes de lograr a largo plazo (ej.: Visión regional, ODS, otros); cómo se puede decir que una estrategia de largo plazo es exitosa.

Acciones (A): Políticas públicas, medidas o acciones consideradas para alcanzar las metas. A partir de la definición de los indicadores de desempeño identificados por los distintos actores y de la revisión de antecedentes, se seleccionarán aquellas estrategias de acción que puedan disminuir los impactos de la variabilidad y el cambio climático sobre estos indicadores, permitiendo a distintos niveles, alcanzar las metas de seguridad hídrica en sus múltiples dimensiones.

Modelos/herramientas (M): Modelos, datos o relaciones que permiten conectar las acciones con el desempeño e incertidumbres.

Incertidumbre (I): Factores inciertos que pueden afectar la capacidad de alcanzar los desempeños esperados. Estos factores no son controlables por los tomadores de decisión, como, por ejemplo, el cambio en las condiciones climáticas futuras, el desarrollo político-económico de un territorio, el desarrollo tecnológico o situaciones de índole socio-cultural.

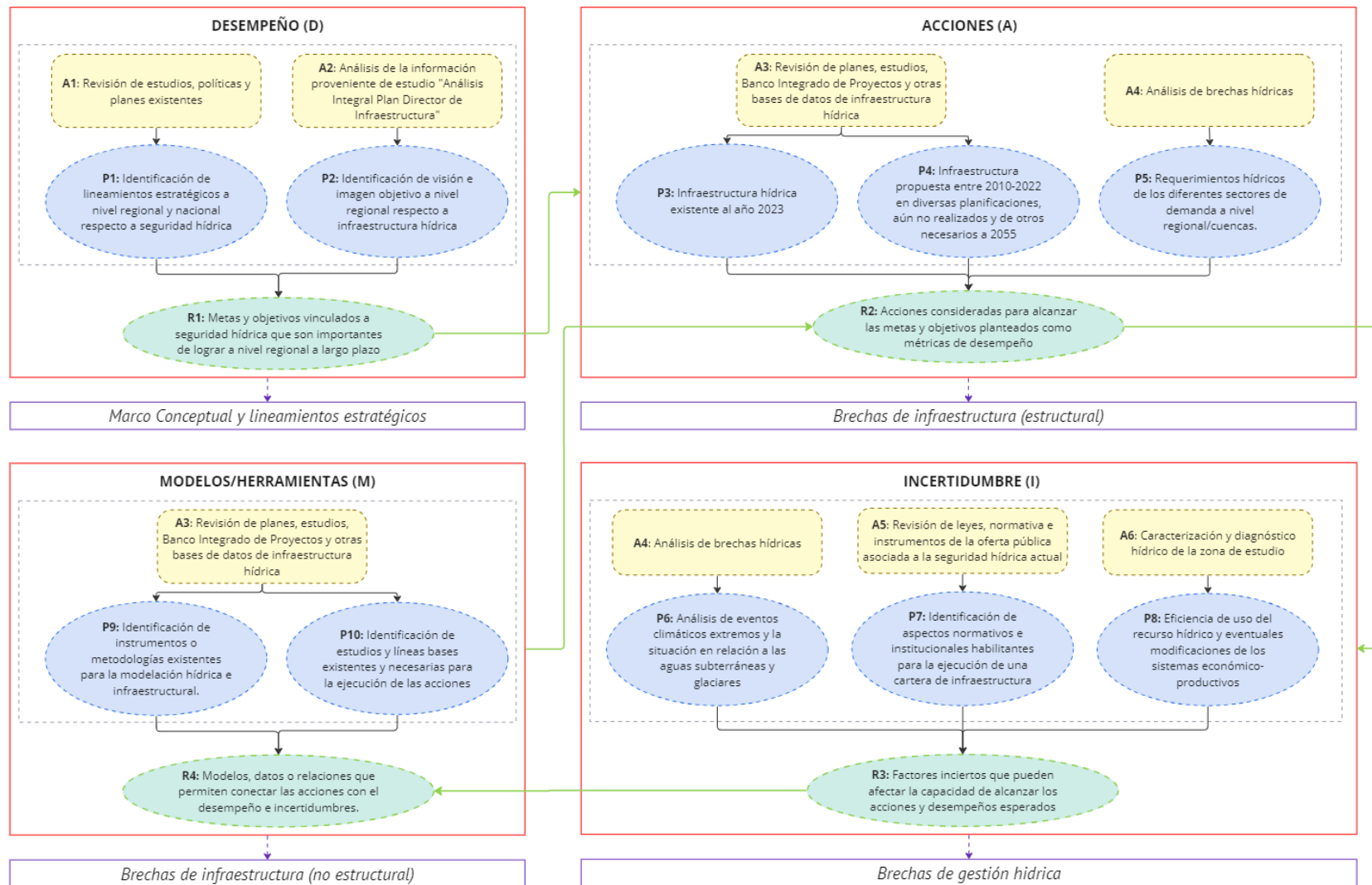
El análisis de matriz DAMI ajustada se basará en las modificaciones realizadas por DGA (2021) para el desarrollo de herramientas para la gestión hídrica en el Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia basada en DGA (2021)

Figura 4.3-1 Matriz DAMI modificada para la metodología de Toma de Decisiones Robusta

Considerando lo anterior, en la Figura 4.3-1 se presenta la conceptualización para el desarrollo de la matriz DAMI para el presente estudio.



*A: Actividad a realizar. P: Producto resultante de la actividad. R: Resultado esperado como contenido de la matriz.

*Cuadros en morado corresponde a las brechas esperadas como resultantes del análisis.

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2021)

Figura 4.3-2 Matriz DAMI modificada

4.3.1 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.

4.3.1.1 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.

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 infraestructura hídrica se ha clasificado en: obras de acumulación, centrales para la generación eléctrica, infraestructura de distribución, obras de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas y pozos. Además, se incluye un apartado con respecto a infraestructura para el uso de agua desde fuentes no convencionales e infraestructura de defensa fluvial y aluvional.

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

4.3.2 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 guió 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. Las brechas generales identificadas a lo largo de Chile se resumen en la Tabla 4.3-1 y Tabla 4.3-2 organizadas por dimensión de seguridad hídrica, mientras que el detalle del análisis se encuentra en el acápite 4.3 de los informes regionales.

Tabla 4.3-1 Brechas de infraestructura generales a nivel nacional

			Tipo de iniciativas necesarias para resolver la brecha estratégicas		
ID	Dimensión estratégica Seguridad Hídrica	Brechas 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 convecionales 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
		Disminucion 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 convecionales 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 4.3-2 Brechas de infraestructura generales a nivel nacional (continuación)

			Tipo de iniciativas necesarias para resolver la brecha estratégicas		
ID	Dimensión estratégica	Brechas estratégicas	Infraestructura estructural	Infraestructura no estructural	Medidas de Gestión
D3	Seguridad Hídrica	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

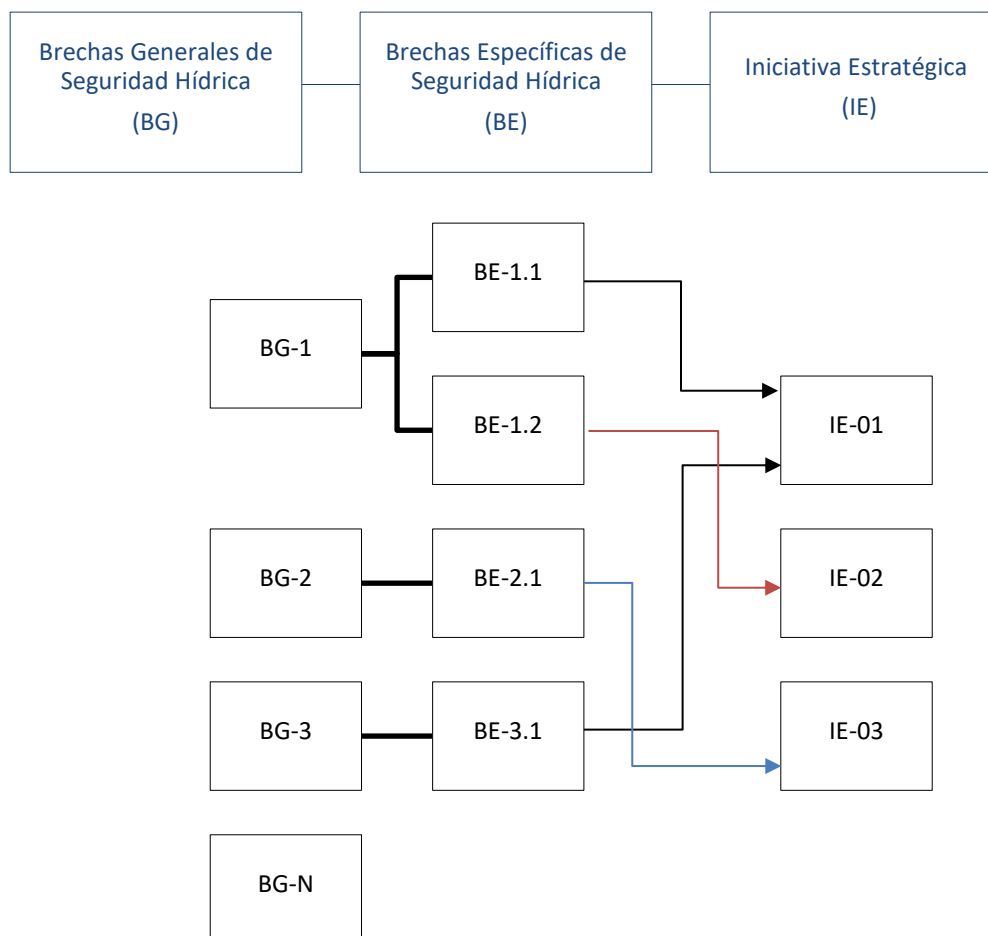
CAPÍTULO 5 IDENTIFICACIÓN DE INICIATIVAS ESTRATÉGICAS

En el presente acápite se describe la metodología para la determinación de las iniciativas estratégicas y la cartera de pre/inversión hídrica

5.1 INICIATIVAS ESTRATÉGICAS

En base a la identificación de brechas de seguridad hídrica tanto a nivel nacional como regional, se formularon Iniciativas Estratégicas (IE). Las IE buscan abordar las diversas deficiencias y requerimientos detectados en las brechas mencionadas, agrupándolos en temáticas similares. La respuesta a estas problemáticas se planteará a través de una cartera de preinversión e inversión.

En el esquema siguiente se presenta un diagrama entre las brechas y las IE, denominando “BG” a las Brechas Generales de seguridad Hídrica y “BE” a las Brechas Específicas de Seguridad Hídrica. Es importante destacar que una IE puede dar respuesta a diferentes BE.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.1-1 Diagrama de flujo Iniciativas Estratégicas

Las iniciativas estratégicas son codificadas como:

RRR – INI – EST – NN

Donde *RRR* corresponde a las siglas que identifican a cada región, señaladas en la Tabla 5.1-1, *INI – EST* corresponde a la abreviación de “Iniciativas Estratégica” y *NN* un número correlativo para cada iniciativa estratégica.

Tabla 5.1-1 Código por región

Región	Código
Arica y Parinacota	AYP
Tarapacá	TAR
Antofagasta	ANT
Atacama	ATA

Región	Código
Coquimbo	COQ
Valparaíso	VAL
O'Higgins	OHI
Maule	MAU
Metropolitana	RM
Ñuble	ÑUB
Biobío	BIO
Araucanía	ARA
Los Ríos	RIO
Los Lagos	LAG
Aysén	AYS
Magallanes	MAG

Fuente: Elaboración propia

Las iniciativas estratégicas fueron diseñadas tomando como base temáticas comunes, de modo que todas las regiones comparten un enfoque general alineado. A su vez, para cada región se definió un énfasis específico que responde a las necesidades y desafíos particulares identificados a partir de las brechas regionales. A modo de ejemplo en la Tabla 5.1-2 se presentan las iniciativas estratégicas de la región de Arica y Parinacota.

Tabla 5.1-2 Iniciativas Estratégicas para la región de Arica y Parinacota

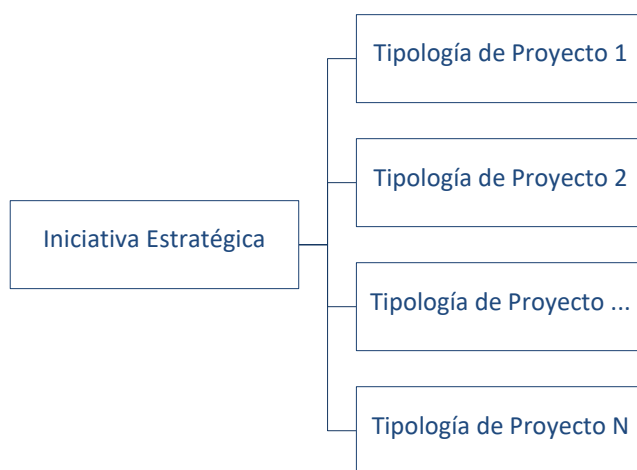
Iniciativas Estratégicas	Código Iniciativa Estratégica
Ampliación, conservación y mejoramiento operacional y tecnológico de SSR en agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas	AYP-INI-EST-01
Fuentes de abastecimiento sustentables para consumo humano y riego con énfasis en la calidad del agua	AYP-INI-EST-02
Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral, asociado a una gestión integrada de cuencas	AYP-INI-EST-03
Obras y medidas de protección y recuperación de sistemas ecosistémicos naturales, basadas en la naturaleza con énfasis en prevenir desertificación y erosión	AYP-INI-EST-04
Sistema integral de infraestructura resiliente en cauces y quebradas para la seguridad territorial y protección de la población, además del manejo de los flujos excedentes del invierno altiplánico	AYP-INI-EST-05

Iniciativas Estratégicas	Código Iniciativa Estratégica
Implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral de cuencas transnacionales	AYP-INI-EST-06

Fuente: Elaboración propia

5.2 TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS

Dada la diversidad y magnitud de potenciales inversiones de infraestructura hidráulica que se podrían proyectar en cada cuenca, se clasificaron de acuerdo a su tipología de proyecto.

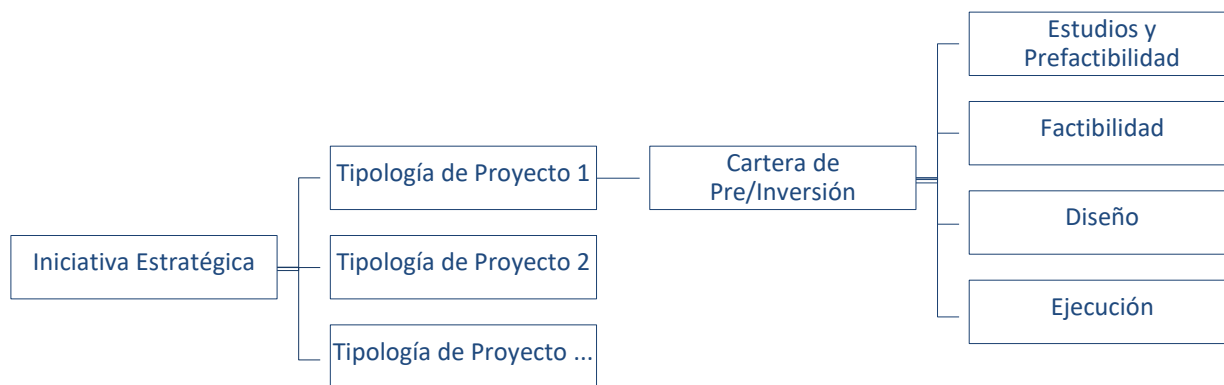


Fuente: Elaboración propia

Figura 5.2-1 Diagrama Composición Iniciativas Estratégicas

5.3 CONFORMACIÓN DE LA CARTERA DE PRE/INVERSIONES

Con las iniciativas estratégicas definidas en conjunto con sus tipologías de proyecto, se procedió a conformar la cartera de pre/inversiones e inversiones de la región a nivel de cuencas. Es importante mencionar que cada iniciativa de inversión se somete a un proceso de etapas, las cuales se conforman de: 1) Estudio y/o Prefactibilidad, 2) Factibilidad, 3) Diseño y 4) Ejecución. Generalmente, los estudios y/o prefactibilidades corresponden a proyectos directores y/o de una espacialidad a nivel de cuenca, comuna, provincia o región, como son, por ejemplo, los Planes Maestros de Aguas Lluvias, Planes de Manejo de Cauce, Planes Integrales de Riego o Planes Estratégicos de Gestión Hídrica, desde donde nace una serie de ideas y proyectos que se desarrollan posteriormente en las etapas de Factibilidad, Diseño y Ejecución. En el caso de las conservaciones, sólo se considera la etapa de ejecución.



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.3-1 Diagrama Estructura Iniciativas Estratégica, Tipología de Proyectos y Cartera de Pre/Inversiones

Para la conformación de la cartera, se constó con tres fuentes principales, además de las brechas identificadas en el capítulo 4:

- Cartera de proyectos existente, catastradas en el acápite 3.1.2. Los cuales se codificaron con la sigla CAR-INI-NNNN, donde NNNN es un número correlativo a nivel nacional de iniciativas.
- Estudio “Análisis de Inversión en Infraestructura y Gestión Hídrica” del Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas (PIIH) para los años 2020-2050 (DGOP, 2021). Los cuales se codificaron con la sigla PIIH-XXX-NNNN, donde XXX corresponde al tipo de proyecto definido en el citado estudio (CM: Cartera maestra; APR: Proyectos de Agua Potable Rural; INO: Proyectos de innovación) y NNNN es un número correlativo a nivel nacional.
- Cartera de Iniciativas de 2024-2028 (Quinquenal). Los cuales se codificaron con la sigla QUIN-NNNN, donde NNNN es un número correlativo a nivel nacional de iniciativas.

Con esta información se consideraron los siguientes pasos:

1. Se agruparon las inversiones por tipología de proyecto
2. Se descartaron las iniciativas repetidas bajo la siguiente priorización
 - a. Cartera Quinquenal: Primera prioridad
 - b. Cartera PIIH: Segunda prioridad
 - c. Cartera proyectos Existentes. Tercera Prioridad
3. En el caso de que no se cubra la brecha con las iniciativas ya existentes, se propone una nueva inversión. Esta inversión se codifica con la sigla AIH-RRR-IE-TP-NN, donde AIH corresponde a la sigla “Análisis de Requerimientos de Infraestructura Hídrica”, “RRR” el código de la región, “IE” el numero correlativo de la Iniciativa estratégica, “TP” la tipología de proyecto a la que pertenece y NN un número de correlativo.

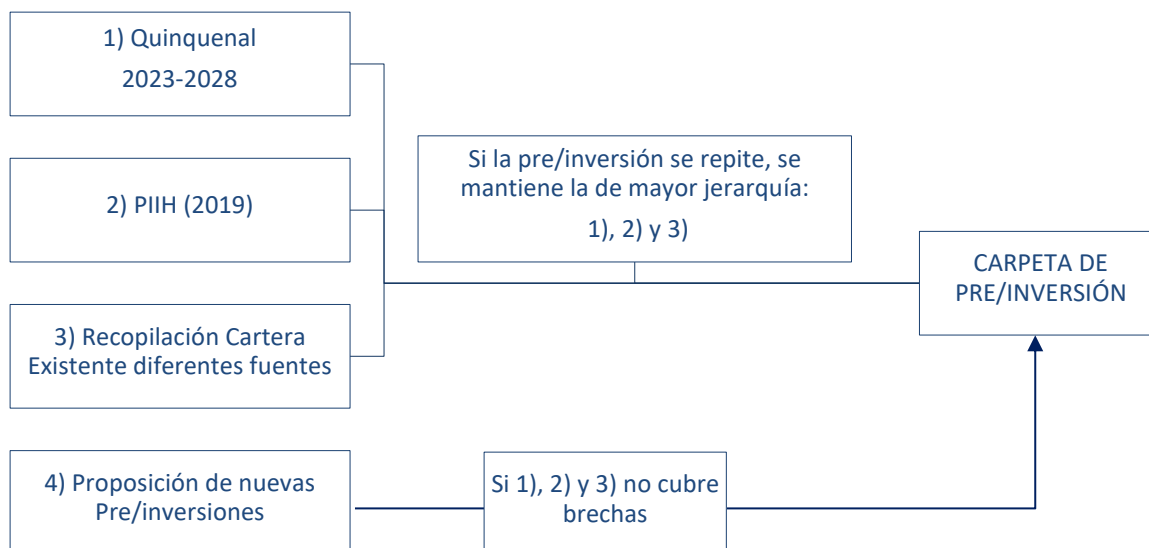


Figura 5.3-2 Diagrama de Composición de Cartera de Pre/inversión

Para determinar las iniciativas a proyectar en cada una de las tipologías de proyecto, para las brechas no cubiertas, se consideraron los siguientes criterios:

Tabla 5.3-1 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RRR-INI-EST-01

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
1-1	Diseño, Construcción de Sistemas de Agua Potable Rural	A partir de proyección de Demanda APR sin abastecimiento, informada en numeral 2.2.2, se define el número total de arranques promedio de los sistemas de APR y cantidad por cuenca y comuna.
1-2	Ampliación y/o Mejoramiento de Servicios Existentes de Agua Potable Rural	No se proyectan ampliaciones al sistema, ya que el aumento se considera en 1.1.
1-3	Implementación de Sistemas Operacionales de Telemetría y Control en Sistemas de Agua Potable Rural	Se propone proyectar al menos un (1) sistema de telemetría y control para cada APR existente y proyectado por cuenca
1-4	Diseño, Construcción de Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Servidas en Servicios Sanitarios Rurales	A partir de Minuta "Estimación Brecha de SSR. RRP/18.08.2024" y proyección de nuevas APR en 1.1, se estima el total de proyectos a desarrollar para cubrir la brecha existente por comuna y cuenca. Ver Anexo 05.07.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-2 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RRR-INI-EST-02

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
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	Se propone la ejecución de un (1) Estudio de Disponibilidad de Alternativas de Recursos Hídricos y su variación por efecto del cambio Climático, similar a un Plan Estratégico de Gestión Hídrica, para las cuencas que no cuenten con un estudio vigente (no ejecutado en cuencas donde se observan sistemas hidrológicos o ejecutado antes del año 2015). Se propone la ejecución de un (1) Diagnóstico de Recursos Hídricos y Demanda de Riego y su variación por efecto del cambio Climático, como un Plan Integral de Cuenca, para las cuencas que no cuenten con un estudio vigente (no ejecutado en sectores cultivables o ejecutado antes del año 2015).
2-2	Diseño y Construcción de Plantas Desaladoras y Desalinizadoras	Se recomienda realizar un estudio de viabilidad para la instalación de plantas de desalinización en cuencas donde existan localidades con más de 25 viviendas a una distancia de hasta 2 km de la costa. También se evalúa la proyección de sistemas de Agua Potable Rural (APR) en estas localidades, ofreciendo una alternativa a la proyección actual de APR. Este tipo de obras no se contempla en la zona austral de Chile.
2-3	Eficiencia en el Uso del Agua. - Fomento de Eficiencia Hídrica en Riego. - Fomento de Eficiencia Hídrica en Agua Potable Urbana	Se propone un (1) proyecto de nuevas tecnologías para el consumo eficiente y un (1) proyecto de mejoramiento tecnológico de sistemas de riego a nivel regional. Se propone un (1) proyecto de normalización de elementos eficientes en APR a nivel regional, en base al número de arranques por APR existente y proyectado.
2-4	Diseño y Construcción de Obras para la Recuperación y Recarga de Acuíferos	Se proponen obras para la recuperación y recarga de acuíferos en cuencas donde existen antecedentes de Áreas de Restricción y Zonas de Prohibición para extracción de aguas

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
		subterráneas y además el Balance Hídrico Nacional indique si la cuenca posea una condición de estrés hídrico o cuenca crítica, sin considerar las cuencas altiplánicas.
2-5	Diseño, Construcción de Sistemas de Reutilización de Aguas Servidas para Riego	Se propone estudios y proyectos de reutilización de aguas servidas para el uso en riego donde exista presencia de APR y, de presencia de zonas con riego. Se proyecta una (1) iniciativa por cuenca en base a los arranques de APR existentes y proyectados. Adicionalmente se propuso una (1) iniciativa de reúso para los emisarios submarinos priorizados por región de acuerdo a la los catastros del Ministerio de Obras Públicas. Se proyecta en función de los arranques de conexión a cada emisario.
2-6	Desarrollo de Regularización de DAA en Captaciones. Promoción y Conformación de Organizaciones de Usuarios. Plan de Seguimiento a Planes de Riego	Para cada región se proponen dos (2) medidas de gestión: Un programa de capacitación y seguimiento como seminarios, talleres, y un programa de reforzamiento de OUA.
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	Se propuso una (1) obra de mejoramiento y/o construcción de canales, para cada región con presencia de riego y/o canales. Se consideró el 5% de los canales presentes en la región, con un máximo proyectado de cincuenta (50) kilómetros y una tasa de avance de cinco (5) kilómetros por año.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-3 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RRR-INI-EST-03

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
3-1	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Fluvimétricas en Cauces y/o Canales	Se proponen estaciones en puntos estratégicos antes o después de confluencias, zonas altas y desembocaduras, cubriendo los principales cauces y considerando cercanía de estaciones existentes (ver Anexo regional 07). Se proyectó al menos una estación en cada cuenca BNA. Existen excepciones en las que no se justifica por tratarse de quebradas secas, cuencas muy pequeñas o bien ubicaciones muy poco accesibles (Campo de Hielo Sur, por ejemplo).
3-2	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Calidad de Aguas en Cuencas	Se propuso una (1) estación superficial para cada estación Fluvimétrica existente en la cuenca. Se propuso al menos una (1) estación subterránea en cada pozo de medición proyectado y en cada SHAC cada 200 km ² .
3-3	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones Meteorológicas	Se proponen ubicaciones en áreas con poca cobertura de estaciones y que sea sean representativas de diversas zonas climáticas de Köppen para cada cuenca, considerando también la accesibilidad. Detalles en Anexo 05.07.
3-4	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Estaciones de Monitoreo de Glaciares y Nieves	Inicialmente se considera cobertura nacional. En base a esto, se prioriza para rutas de nieve zonas norte, sur y austral, escogiendo sectores planos, accesibles y lo suficientemente elevados según la latitud. Se proponen ubicaciones cercanas

Tabla 5.3-3 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar RRR-INI-EST-03

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
		a pasos fronterizos, centros de montaña o puntos elevados de la Carretera Austral (cuesta Queulat, por ejemplo). Respecto a glaciares, estos son escasos en la zona norte, además de encontrarse a grandes elevaciones y ser en su mayoría rocosos, por lo que se proponen estaciones a partir del norte chico en glaciares de montaña, de valle o efluentes, de dimensiones importantes y relativamente accesibles, en base a IPG (DGA, 2022). Así y todo, algunas ubicaciones propuestas para zona austral son accesibles únicamente vía marítima, como es el caso de algunas ya existentes en la zona. Detalles en Anexo 05.07.
3-5	Diseño, Construcción e Implementación de Tecnologías en Pozos de Observación	Se propone al menos un pozo de medición por SHAC cada 200 km ² . (Superficie con pendientes menor a 15% aptos para acumular agua)
3-6	Desarrollo e Implementación de una Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas	Se propone la implementación de un sistema de seguimiento y monitoreo integral a nivel regional

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-4 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar COQ-INI-EST-04

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
4-1	Conservación, Restauración y Protección de Humedales, Riberas y Cauces	Se proponen estudios y/o proyectos donde el perímetro (km) de humedales (ríos, lagos, lagunas, salares, otros) es superior a los 20 km y en cuencas donde se hayan declarado áreas de restricción o Zonas de Prohibición y la cuenca sea prioritaria.
4-2	Medida de Gestión: Implementación de Norma Secundaria de Calidad	Se propone un estudio de manejo de normas ambiental e hídricas, Reservas de Agua, Planes y Políticas, a nivel regional

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.3-5 Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar COQ-INI-EST-05

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
5-1	Diseño, Construcción de Obras de Control Aluvional en Cauces y Quebradas	Se propone la ejecución de un Plan de manejo de Cauce, en caso de que el estudio vigente haya sido ejecutado antes del año 2015 o en el caso de que sea necesaria su ejecución (existencia de localidades concentradas, a orillas de un cauce importante). Se proponen proyecto de obras aluvionales de acuerdo a las características de la cuenca y considerando una inversión probable en 10 años.
5-2	Diseño, Construcción de Obras de Mejoramiento, Reposición, Restauración o Conservación de Defensas Fluviales, Manejo de Cauces y Riberas	Se propone la ejecución de un Plan de manejo de Cauce, en caso de que el estudio vigente haya sido ejecutado antes del año 2015 o en el caso de que sea necesaria su ejecución (existencia de localidades concentradas, a orillas de un cauce importante). Se proponen proyecto de obras aluvionales de acuerdo a las características de la cuenca y considerando una inversión probable en 10 años.

Código	Descripción Tipología	Criterios para la determinación de las iniciativas a proyectar
5-3	Diseño, Construcción y Conservación de Obras de Evacuación y Drenaje de Aguas Lluvias	Se propone la ejecución de un Plan Maestro de Aguas Lluvias o su Actualización, en caso de que el estudio vigente haya sido ejecutado antes del año 2010 o en el caso de que sea necesaria su ejecución (existencia de localidades con más de 50.000 habitantes). Se proponen proyecto de obras aluvionales de acuerdo a las características de la cuenca y considerando una inversión probable en 10 años.

Fuente: Elaboración propia

5.3.1 Identificación de iniciativas innovadoras y de gestión

Para la identificación de iniciativas innovadoras, se utilizará la metodología desarrollada por DOH (2021) en la cual se busca “la aplicación de ideas que han logrado un cierto grado de madurez en el país o en alguna parte del mundo, y cuya exploración, mayor análisis y pruebas sería razonable considerar como parte del presente Plan, para, en caso de validarse su potencial, incorporar posteriormente su escalamiento en las cuencas donde ese potencial tenga sentido”.

De acuerdo al estudio mencionado, se considerarán como iniciativas innovadoras a aquellas que cumplen con los siguientes atributos:

- **Novedad:** La iniciativa presenta un grado de novedad, al menos en el contexto público chileno, que implica espacios de incerteza en alguna de las dimensiones que se describirán más adelante en la caracterización de la incertidumbre.
- **Escalabilidad:** La iniciativa tiene la posibilidad de ser validada a pequeña escala, y puede ser replicada en nuevas etapas o iniciativas a futuro que incrementen en varias veces la producción o resultados logrados con la primera ejecución o validación.
- **Impacto:** Al ser escalada, la iniciativa tiene el potencial de generar un beneficio significativamente mayor con respecto a una solución tradicional, con el mismo nivel de recursos invertidos y retorno futuro.

Asimismo, se señala que dichos atributos tienen inherentemente asociado algún grado de incertidumbre que no permite asegurar la conveniencia de su ejecución. Las iniciativas que no cumplen con dichos criterios son excluidas del tratamiento como iniciativas innovadoras, y evaluadas como iniciativas tradicionales, mediante mecanismos tradicionales. Iniciativas que no son clasificadas como innovadoras, aun cuando presenten algún grado de incertidumbre, son las que se incluyen en las diversas carteras antes descritas.

5.4 DETERMINACIÓN DE COSTOS UNITARIOS DE TIPOLOGÍAS DE PROYECTOS

Definida la cartera de inversión de cada Iniciativa Estratégica se procedió a definir su costo. Si bien, parte de las inversiones cuentan con una estimación de costos, en especial la cartera del Quinquenal, en general, estas no cuentan con un presupuesto. Misma condición se tiene con las inversiones propuestas.

Con el fin de determinar los costos, se estimaron precios Unitarios para diferentes tipos de proyectos genéricos al cual se le asignó un código INI. Este código fue asignado a todos los proyectos recopilados que tenían características similares al proyecto genérico y de esta manera valorizar su costo en todas las etapas de desarrollo.

Finalmente, dada la naturaleza de la tipología de proyecto, se indica si corresponde a una inversión innovadora, es decir, que corresponde a un tipo de inversión poco utilizada o nueva para el ministerio.

5.5 CONSOLIDACIÓN DE INFORMACIÓN

Cada iniciativa identificada propuesta sin ejecutar o proyectada, contendrá la información necesaria para su incorporación a la cartera de acciones en archivo .xls. En el caso que se detecte más de una iniciativa bajo la misma temática en una zona de estudio, estas se compilarán a nivel de programa (ej.: construcción de SSR, implementación de red de monitoreo para una variable particular, entre otros).

5.6 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.

5.6.1 Análisis de desafío gestionable

En este escenario, **la brecha de seguridad hídrica sigue aumentando**, es decir, la diferencia entre la oferta y la demanda de agua se amplía. Sin embargo, a diferencia del escenario anterior, la región mantiene una **capacidad de respuesta adecuada**, lo que le permite gestionar el aumento de la demanda a través de medidas correctivas y adaptativas. Estas medidas pueden incluir reformas en la gestión del agua, la implementación de tecnologías más eficientes, y la mejora de infraestructuras.

Aunque la brecha se amplía, los actores clave (gobiernos, empresas, sociedad civil) logran implementar estrategias de adaptación, como el uso eficiente del agua, reutilización de recursos hídricos o mejoras en la infraestructura de almacenamiento y distribución. La capacidad para responder eficazmente a los desafíos hídricos sigue siendo viable, pero requiere un esfuerzo constante y coordinación entre los diferentes sectores involucrados.

Implicancias:

- Brecha de seguridad hídrica: Aunque se incrementa, se maneja mediante reformas y ajustes.
- Capacidad de respuesta: Adecuada para abordar la situación, con políticas, tecnología y recursos disponibles para mitigar el impacto.

Posibles consecuencias: Aunque la región enfrenta un desafío creciente, la capacidad de respuesta permite mantener la situación bajo control, evitando una crisis grave. A largo plazo, esto podría llevar a la estabilización o incluso reducción de la brecha si se siguen implementando mejoras continuas.

5.6.2 Análisis de capacidad limitada

Este escenario describe una situación en la que **la brecha de seguridad hídrica no aumenta** significativamente, es decir, la región logra mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda de agua, pero **la capacidad de respuesta se ve obstaculizada**. Aunque los recursos hídricos siguen siendo relativamente estables, la región enfrenta limitaciones en la capacidad de adaptarse a posibles cambios o crisis.

Las causas de esta limitación pueden ser diversas, como la falta de recursos económicos para implementar las reformas necesarias, la carencia de personal capacitado o la falta de voluntad política para llevar a cabo las reformas necesarias. En este escenario, las instituciones encargadas de la gestión del agua pueden ser lentas o inadecuadas en la toma de decisiones, y las políticas existentes pueden ser insuficientes para gestionar adecuadamente la situación.

Implicancias:

- Brecha de seguridad hídrica: Estable, sin grandes aumentos.
- Capacidad de respuesta: Limitada, debido a barreras económicas, políticas o institucionales.

Posibles consecuencias: Aunque no hay un aumento dramático en la brecha de seguridad hídrica, la falta de capacidad de respuesta puede hacer que la región sea vulnerable a futuros quiebres de tendencia (por ejemplo, cambios climáticos inesperados, crisis económicas) que podrían afectar de manera inesperada la oferta y demanda de agua.

5.6.3 Análisis de avance sostenible y resiliente

Este es el escenario más optimista, en el cual **tanto la brecha de seguridad hídrica como la capacidad de respuesta se mantienen estables**. En este escenario, la región ha implementado estrategias sostenibles y resilientes para gestionar sus recursos hídricos de

manera eficiente. Esto incluye la adopción de tecnologías innovadoras, políticas públicas progresivas, y una gestión integrada de los recursos hídricos que considera tanto las necesidades presentes como futuras.

La capacidad de respuesta está bien desarrollada debido a la inversión en infraestructura hídrica, la formación de capacidades y la implementación de reformas que permiten a la región adaptarse a los cambios de manera eficaz. Las políticas de conservación del agua, reciclaje de aguas residuales y eficiencia hídrica son fundamentales en este escenario, ayudando a reducir la presión sobre los recursos hídricos y promoviendo un uso más sostenible.

Implicancias:

- Brecha de seguridad hídrica: Estable o en disminución, gracias a una mejor gestión de los recursos.
- Capacidad de respuesta: Alta, con políticas, recursos y tecnologías bien alineadas para asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

Posibles consecuencias: Este escenario lleva a una gestión hídrica resiliente que no solo enfrenta los desafíos actuales, sino que también se adapta proactivamente a los cambios y posibles riesgos futuros, asegurando una provisión continua y sostenible de agua para las generaciones venideras.

5.6.4 Análisis de estancamiento crítico

Este escenario se caracteriza por un **aumento significativo de la brecha de seguridad hídrica**, lo cual significa que la demanda de agua supera de forma creciente la oferta disponible en la región. Este desequilibrio puede deberse a varios factores, como el crecimiento acelerado de la población, el cambio climático (que afecta la disponibilidad de agua), y el uso intensivo de los recursos hídricos para actividades como la agricultura, la industria o el consumo urbano.

Además, este escenario está marcado por la **obstaculización de la capacidad de respuesta** del sistema. Esto significa que la región no está en condiciones de implementar adecuadamente reformas o medidas que mitiguen los efectos del aumento de la demanda de agua. Las causas de esta limitación pueden incluir falta de recursos financieros, infraestructura obsoleta o insuficiente, falta de capacidad técnica o institucional, o incluso la resistencia política a realizar cambios necesarios. Como resultado, la capacidad para enfrentar los desafíos de la seguridad hídrica se ve seriamente comprometida.

Implicancias:

- Brecha de seguridad hídrica: Creciente presión sobre los recursos hídricos, con un aumento en la escasez de agua.
- Capacidad de respuesta: Restricciones significativas en la implementación de medidas efectivas debido a la falta de recursos, infraestructura o políticas públicas adecuadas.

Posibles consecuencias: En este escenario, la falta de respuesta efectiva puede generar crisis hídricas recurrentes, como racionamiento de agua, conflictos por recursos hídricos, y la exacerbación de problemas relacionados con la salud y la agricultura.

CAPÍTULO 6 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y PRIORIZACIÓN

Se realizará una evaluación socioeconómica de costos y beneficios de aquellas iniciativas estratégicas levantadas que sirvan como insumo a la posterior priorización multicriterio. Las iniciativas propuestas deben tener un sentido socioeconómico, lo que significa que no pueden tener un costo social mayor que el valor que generarán para la sociedad a lo largo de su vida útil.

6.1 PRIORIZACIÓN DE INICIATIVAS

Para la priorización de medidas se utiliza una aproximación de la metodología de Análisis Multicriterio para la Toma de Decisiones (MCDM, por sus siglas en inglés). Este método ha sido estudiado por la DOH para la priorización de infraestructura hidráulica, específicamente cuando se toman decisiones de inversión de un conjunto de iniciativas que contemplan el mismo producto estratégico de la DOH (tipo de obra). En el presente informe se consideran como criterios de desarrollo las evaluaciones ambientales, social, y económica, agregando criterios estratégicos vinculados a la priorización de cuencas (ver Informe Nacional, acápite Priorización de cuencas) y problemáticas transversales sobre recursos hídricos en la región (factores críticos para la toma de decisión).

Para ello, a continuación, se detallan los pasos generales a considerar en el análisis multicriterio:

- *Identificar criterios y objetivos:* En esta etapa se pretende identificar aquellos criterios que se van a considerar, de forma que las opciones del problema estén reflejadas en estos. Además, en esta etapa se deben jerarquizar los criterios en grupos de acuerdo al nivel de importancia y características de estos. Es importante revisar que los criterios identificados concuerden con los objetivos del proyecto, para lo cual se debe tener en cuenta: viabilidad técnica, desarrollo y planes estratégicos del proyecto. Para ello, en el presente ejercicio se consideran como criterios de desarrollo las evaluaciones ambientales, socioeconómico y político-normativo, agregando un criterio estratégico que se refiere a la priorización de

las cuencas y los problemas transversales (o factores críticos) que afectan a las cuencas, bajo la opinión experta.

- *Determinar variables a considerar de acuerdo con criterios previamente establecidos:* Consiste en identificar las opciones con las que se cuenta, definir una forma de llevar estas opciones a variables medibles (indicadores) y determinar las puntuaciones de cada una de estas opciones de acuerdo a los criterios previamente establecidos.
- *Combinar ponderaciones y calificaciones de cada opción de forma de obtener un valor global:* En esta etapa se debe establecer que método de combinación se va a utilizar para agrupar los indicadores. Hasta el momento se considera el método de ponderación aditiva simple (SAW), conocido como método de combinación o puntuación lineal ponderada. Es una técnica de decisión multicriterio y se basa en el promedio ponderado. Corresponde a uno de los métodos más simples y se utiliza muy a menudo en métodos de decisión a través de técnicas multicriterio. El modelo matemático corresponde a:

$$u_i = \sum_{j=1}^m r_{ij} w_j \quad \text{Ec. 1}$$

Donde la utilidad u_i es el resultado de la suma ponderada de los criterios w_j y sus ponderaciones relativas r_{ij} . Luego se aplica un criterio de maximización de utilidades, donde los mayores valores de la utilidad (u_i) son las mejores alternativas.

Finalmente se deben examinar los resultados obtenidos. El resumen de los criterios de evaluación de inversiones y valorización para su priorización se presenta en la Tabla 6.1-1.

Tabla 6.1-1 Criterios de Evaluación de Inversiones y valorización para su priorización

Ámbito	Ambiental	Tipologías de Obras	Social	Socioeconómico	Político Normativo	Estratégico nivel Cuenca/regional	Estratégico nivel regional
Indicador	Protección y recuperación de las fuentes de agua	Categoría Sustentabilidad de Obras	Obras vinculadas a Dimensiones de Seguridad Hídrica	Categoría de Multipropósito	Alineamiento político / normativo	Priorización de cuencas en la región (desde listado de cuencas priorizadas, depende del código de cuenca)	Iniciativas que cubren los temas relevantes o problemáticas transversales de la región
Escala	Alta [4]: Iniciativas destinadas a la protección y recuperación de los recursos hídricos Baja [1]: No aplica lo anterior	Alta [4]: Verde - Iniciativas innovadoras y/o basadas en la Naturaleza Baja [1]: Gris - Iniciativas Tradicionales	Alta [4]: Iniciativas vinculadas a Consumo Humano y Saneamiento Media [2] : Iniciativas vinculadas a Conservación y Resiliencia [D3 y D4] Baja [1]: Iniciativas vinculadas a Desarrollo Económico [D2]	Alta [4]: Iniciativas multipropósito Baja [1]: No aplica lo anterior	Alta [4]: Cuenta con factibilidad política y cuenta con normativa adecuada Media [2] : Cuenta con factibilidad política, pero requiere cambios normativos Baja [1]: No cuenta con factibilidad política y/o requiere cambios normativos	Alta [4]: Mayor o igual al percentil del 75% Media [2] : Entre los percentiles del 75% y 25% Baja [1]: Menor o igual al percentil del 25%	Alta [4]: iniciativas dentro de las problemáticas transversales Baja [1]: iniciativas NO está dentro de las problemáticas transversales
Áreas que engloba	Protección y recuperación de las fuentes de agua	Solución Basada en la Naturaleza Innovación	Priorización del derecho humano al agua y saneamiento Protección de la ciudadanía y modos de vida Resiliencia	Carácter Multipropósito	Factibilidad política (Alineamiento con visión estratégica Comité Experto Asesor) Requerimiento de cambios normativos para su implementación	Criticidad de las cuencas Gestión integrada de recursos hídricos a escala de cuenca (iniciativas propuestas por los PEGH)	Conocimiento del territorio (preferencias de actores locales)
Ponderación	15%	15%	15%	10%	15%	15%	15%
Rango máx.	4	4	4	4	4	4	4
Rango min.	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

6.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica de las iniciativas pretende determinar los costos asociados a través de un enfoque de costo-eficiencia. Es importante mencionar que se utilizará información referencial respecto a los costos, tomando en consideración la información pública respecto del gasto público y/o privado en estas materias.

El enfoque costo eficiencia tiene como supuesto implícito que el valor actual de los beneficios sociales de la medida es mayor que el valor actual de los costos de implementarla, por lo cual dicha medida es de por sí socialmente rentable y no se evalúa su conveniencia. Bajo este enfoque de evaluación se utilizó como indicador el **valor actual de costos o VAC**.

El VAC es ampliamente utilizado cuando se comparan alternativas de proyecto que tienen los mismos beneficios y vida útil, o cuando los beneficios son difíciles de cuantificar. Toma especial relevancia en el presente ejercicio, para poder comparar medidas e iniciativas que tienen una gran componente de gestión y procesos, que, si bien no es posible atribuirles beneficios directos o externalidades valorables, sí contribuyen a que el estudio obtenga información de base o genere capacidades necesarias para la implementación del plan y que se logren los objetivos de este. Se debe resaltar que la mayoría de las iniciativas habilitantes o de procesos, tienen este perfil, siendo solo algunas iniciativas que requieren una inversión en infraestructura.

Luego, para poder comparar las iniciativas, se utiliza el indicador VAC que se expresa como la suma algebraica de cada flujo de costos descontados, y representa el costo total del proyecto evaluado en valor presente. Su expresión matemática es la siguiente.

$$VAC = I_o + \sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

donde,

VAC: Valor actual de los costos;

Ct: Costos sociales del proyecto, basados en información referencial;

Io: Inversión inicial, basada en información referencial;

r: Tasa social de descuento (expresada en términos reales);

T: Horizonte de evaluación del proyecto.

Si se compararan alternativas que compiten entre sí, en el cumplimiento de un mismo beneficio, el criterio de decisión es seleccionar aquella alternativa que tenga el menor VAC.

Adicionalmente, se estima el indicador de **costo anual equivalente o CAE**. La expresión matemática del CAE corresponde a la siguiente:

$$CAE = VAC \frac{r (1 + r)^T}{(1 + r)^T - 1}$$

donde,

CAE: Costo anual equivalente;

VAC: Valor actual de los costos;

r: Tasa social de descuento (expresada en términos reales);

T: Horizonte de evaluación del proyecto.

Finalmente, si existen antecedentes suficientes, se puede aplicar la razón de costo efectividad estimada como la división entre el CAE y un indicador de beneficio, como puede ser el número de beneficiarios (B), el aumento de seguridad de ejercer el derecho de agua, o el aumento en la disponibilidad del recurso hídrico en l/s. Si la intención es comparar proyectos, el indicador de beneficio debe ser el mismo para todas las iniciativas. El criterio de decisión es seleccionar o priorizar aquellas alternativas que tengan el menor CAE por unidad de beneficio.

- Requisitos de implementación.

Los requisitos para el éxito en la ejecución de la acción podrán tener carácter económico o financiero, social y/o cultural del agua, ambiental, institucional y/o legal. Por lo anterior, se analizarán, para los anteriores requisitos o condicionantes habilitantes, en cada tipología de acción propuesta en el PDI, cuáles son las limitantes del contexto actual para la implementación de las soluciones. Un ejemplo de ello podría ser la obligatoriedad de presentación ante el SEIA el EIA relativo a la construcción de un embalse.

CAPÍTULO 8 PROPUESTA DE PROSPECTIVA DE REQUERIMIENTOS DE INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

8.1 MARCO CONCEPTUAL

La prospectiva es un enfoque metodológico que busca anticipar y analizar el futuro, identificando tendencias, oportunidades y desafíos potenciales. Se enfoca en entender las dinámicas actuales y proyectar escenarios futuros para tomar decisiones informadas (Vitale & Puebla, 2017). Para desarrollar la prospectiva de la región se aplicó la estructura presentada en la Figura 8.1-1.

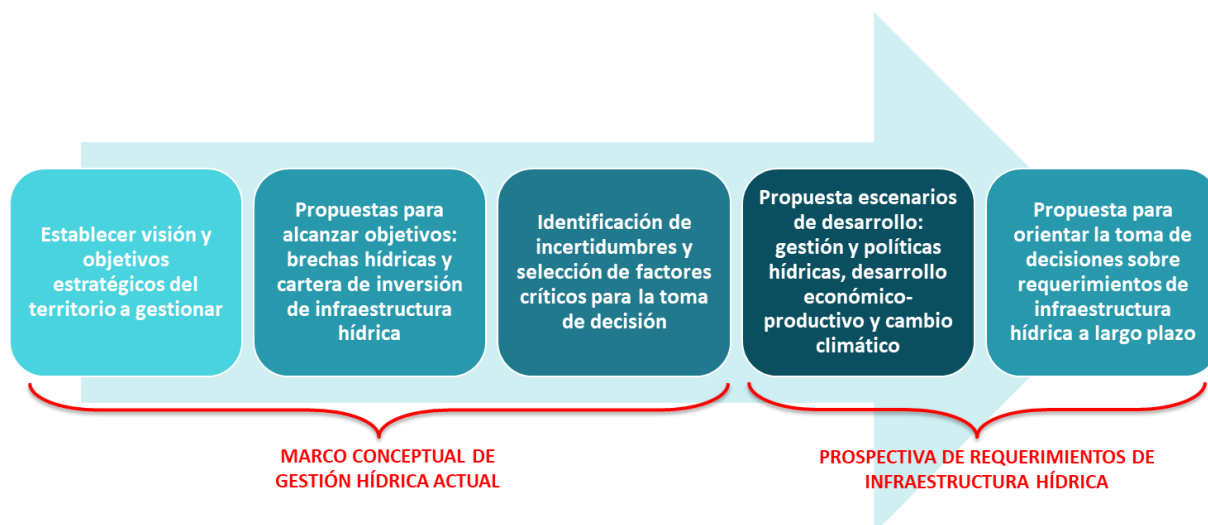


Figura 8.1-1 Diagrama para el desarrollo de una nueva prospectiva de requerimientos de infraestructura hídrica

Bajo este enfoque metodológico, y considerando que el establecimiento de objetivos, la definición de brechas, la construcción de una cartera de inversión de infraestructura hídrica, y la propuesta de escenarios ha sido desarrollada en los acápites anteriores; el presente capítulo se enfocará en la propuesta para orientar la toma de decisiones sobre infraestructura hídrica a largo plazo.

Esta prospectiva debe responder a preguntas como: ¿Cuáles son las áreas más importantes de intervención? ¿Cómo podemos utilizar recursos y actividades para implementar la

intervención propuesta? ¿Quiénes son los actores clave? Para esto, se desarrolla la propuesta para orientar la toma de decisiones futuras a nivel nacional, la cual toma como base la visión y lineamientos presentados por DIRPLAN (2024).

8.2 METODOLOGÍA APLICADA AL ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Bajo este contexto, la metodología para la propuesta de prospectiva adaptada se basará en los trabajos realizados por Lempert (2019) y Walker et al. (2019). Estos indican que se pueden tomar cinco tipos de acciones anticipatorias inmediatamente después de la implementación de un plan para abordar las vulnerabilidades (y oportunidades) identificadas en el mismo, aumentando así la solidez del plan inicial (brechas). Estos cinco tipos de acciones son:

- Acciones de mitigación (M): acciones que reducen los impactos adversos en un plan derivados de ciertas (o muy probables) vulnerabilidades.
- Acciones de cobertura (C): acciones que reducen los impactos adversos en un plan o extensión o reducir los riesgos que surgen de vulnerabilidades inciertas.
- Acciones de oportunidad (O): acciones que aprovechan ciertas (o muy probables) oportunidades que puedan resultar beneficiosos para el plan.
- Acciones de beneficio (B): acciones que aprovechan nuevos desarrollos (incierto) que pueden hacer que el plan tenga más éxito o que tenga éxito antes.
- Acciones preventivas (P): acciones tomadas de manera proactiva para afectar eventos o condiciones externas que podría reducir las posibilidades de fracaso del plan o aumentar sus posibilidades del éxito.

Las acciones de mitigación y las acciones de cobertura preparan el plan inicial para posibles efectos adversos y de esta manera intentan hacerlo más sólido. Las acciones de oportunidad y beneficio son acciones que se toman ahora para cambiar la política y aprovechar las oportunidades disponibles, lo que también puede hacer que el plan sea más sólido. Por el contrario, las acciones preventivas son proactivas y apuntan a afectar fuerzas externas para reducir las posibilidades de resultados negativos o aumentar las posibilidades de resultados positivos. Como tal, las acciones preventivas apuntan no tanto a hacer que el plan sea más sólido, sino a cambiar la situación externa para cambiar la naturaleza de la vulnerabilidad u oportunidad. Por ejemplo, el marketing es un intento de aumentar la demanda de un producto determinado. De esta manera se intenta evitar una demanda insuficiente del producto.

8.3 SELECCIÓN DE FACTORES CRÍTICOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN

La metodología por aplicar para esta etapa será adaptada del estudio realizado por el MIT (Siddiqi, Ereiqat, & Diaz Anadon, 2016), quienes definen las siguientes suposiciones para su implementación:

- El desarrollo de recursos se realiza a través de un conjunto discreto de proyectos de infraestructura.
- Normalmente, la disponibilidad de recursos se gestiona mediante el aumento de la oferta y la gestión de la demanda. Considerando esto, se propone que los esquemas de gestión de la demanda también puedan representarse como “proyectos” con costos e impactos asociados sobre el volumen de agua que queda disponible en el sistema para su uso como resultado de las medidas de gestión de la demanda.
- El recurso será necesario para uso directo y no podrá sustituirse mediante el comercio y las importaciones.
- Unos pocos actores clave impulsan las decisiones que conducen a la implementación de proyectos, y las decisiones se basan en un conjunto discreto de factores que colectivamente dan forma a las decisiones finales.

Considerando dichos supuestos, el estudio establece los siguientes pasos:

1. Identificar los actores relevantes (AR) en la toma de decisiones para la gestión hídrica y el conjunto de proyectos que se están considerando para su desarrollo (ver acápite CAPÍTULO 5). Este paso implica un análisis de mapa de actores, con el fin de identificar instituciones, organizaciones y actores clave que participan en la planificación
2. Utilizando los resultados de mapa de actores, llevar a cabo debates y encuestas para determinar los criterios de decisión y su importancia relativa desde el punto de vista de los AR clave. Esta información generalmente se recopilará a través de entrevistas y se complementará con informes y literatura académica.
3. Organizar los datos de los proyectos y su desempeño según los criterios de decisión (factores) en una matriz de desempeño y comparar proyectos (alternativas) utilizando técnicas como la ponderación aditiva normalizada.
4. Comparar los resultados del análisis con decisiones pasadas (representadas por proyectos implementados y encargados). Esto se puede hacer utilizando datos de proyectos que se han implementado y verificando cómo los resultados del análisis coinciden con las decisiones reales (y el desarrollo).
5. Evaluar la probabilidad de selección de proyectos futuros evaluando el desempeño en diferentes conjuntos de preferencias (ponderaciones) y realizar una evaluación estocástica en la que se varían las probabilidades de importancia de diferentes criterios. Los resultados pueden analizarse más a fondo para determinar los factores que pueden impulsar la selección de proyectos particulares en el futuro, así como las condiciones que conducirían a una nueva prominencia de esos factores. Esto permite obtener información sobre qué escenarios futuros pueden impulsar la progresión a lo largo de posibles diferentes vías de desarrollo.

Es así como, inicialmente, se identificaron diferentes factores críticos transversales a nivel nacional, los cuales fueron evaluados en los 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.

8.4 PROPUESTA PARA ORIENTAR LA TOMA DE DECISIONES FUTURAS

8.4.1 Seguridad hídrica en la región: estado del arte

Descripción de la región y sus cuencas, incluyendo una breve caracterización, relevando el balance hídrico y los sectores de demanda actuales y proyectados, con sus respectivos niveles de eficiencia, indicadores de seguridad hídrica e información complementaria pertinente. Esto se presenta en el Capítulo 2, Capítulo 3 y Capítulo 4 de este informe.

8.4.2 Megatendencias y sus potenciales consecuencias: escenarios de desarrollo

Drivers globales y tendencias y quiebres de tendencia regionales pertinentes (identificados en la entrega 3 del estudio Integral PNIP y en la visión estratégica del Comité Experto Asesor), potenciales consecuencias para la seguridad hídrica, escenarios de desarrollo

considerados para la priorización de infraestructura. Esto se presenta en el Capítulo 7 de este informe.

8.4.3 Nuestra respuesta y responsabilidad: el rol del MOP y actores clave

El rol de actores claves, en particular de MOP en temas de gestión hídrica se presenta en el acápite 4.3.2 del informe Nacional.

8.4.4 Frente a la incertidumbre: Visión común para la resiliencia

La visión nacional se presenta en el acápite 4.2 del informe Nacional. Los objetivos regionales se desarrollan en el acápite 1.2 Marco Estratégico Regional, mientras que los criterios de priorización se muestran en el acápite 6.2.

8.4.5 El futuro existe en el potencial del presente: semillas de cambio

Políticas, planes y estrategias relacionadas a seguridad hídrica consideradas, reformas normativas recientes. El desarrollo de estos temas se presenta en el acápite 3 del informe Nacional.

8.4.6 Innovaciones y políticas públicas: qué hace falta instalar y qué hace falta superar

Causas que han demorado la implementación de las iniciativas propuestas en las planificaciones anteriores, brechas de información, nuevas tipologías y programas de inversión, políticas públicas habilitantes. Estas causas se muestran en el acápite 4.3.1.3 Incertidumbres.

8.4.7 Adaptación como camino para navegar la incertidumbre

La reflexión sobre la importancia de la planificación coordinada para la toma de decisiones frente a problemas complejos se presenta en el acápite 4.3 del informe Nacional.

8.4.8 Soluciones sinérgicas para problemas complejos: iniciativas estratégicas

La inversión por iniciativa estratégica y cuencas, identificación de proyectos y cuantificación de beneficios asociados se presentan en el acápite 5.6.

8.4.9 Gobernanza para el futuro deseado

Los roles clave para alcanzar la propuesta y capacidades necesarias, fortalezas y debilidades existentes en el presente para alcanzar las relaciones y roles necesarios en el futuro se identifican en el acápite 6.1 del informe Nacional, y en el acápite 7.1 del presente informe.

8.4.10 Monitoreo y estrategias de contingencia

Los supuestos sobre los que descansa el plan, mecanismos de seguimiento, acciones anticipatorias se identifican en el acápite 6.1 del informe Nacional, y en el acápite 7.1 del presente informe.

CAPÍTULO 9 BIBLIOGRAFÍA

- 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
- Alvarez-Garretón, 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-Garretón, 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.
- 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.
- 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). Conseciones sanitarias: cómo se incertan 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>
- CEPAL. (2018). *Agua, producción de alimentos y energía*. Santiago: Naciones Unidas.
- Comité Nacional de Restauración Ecológica. (2018). *Documento marco para la Restauración Ecológica*. Santiago: Ministerio de Medio Ambiente.
- 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.
- 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.
- DGOP. (2021). *Plan de Inversión en Iniciativas Hídricas 2020-2050*.
- 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.
- 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*.
- 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.

- 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/>
- INE. (2017). *Resultados Censo 2017*. Obtenido de <http://resultados.censo2017.cl/>
- Lempert, R. (2019). Robust Decision Making (RDM). En V. Marchau, W. Walker, P. Bloemen, & S. Popper, *Decision Making under Deep Uncertainty*. Springer, Cham.
- Lempert, R. J., Popper, S., & Bankes, S. (2003). *haping the next one hundred years: new methods for quantitative, long-term policy analysis*.
- Marchau, V. A., Walker, W. E., Bloemen, P. J., & Popper, S. W. (2019). *Decision Making under Deep Uncertainty: From Theory to Practice*. Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-030-05252-2>
- Melo, O., Rivera, D., & Vicuña, S. (2020). Ley marco de cambio climático: una oportunidad para repensar nuestra gobernanza climática. (C. d. UC, Ed.) *Observatorio Legislativo*, N°42, 1-26.
- MIDESO. (2017). *Encuesta CASEN*. Obtenido de Déficit cualitativo: requerimientos de acceso a servicios sanitarios básicos, según Zona: <https://datasocial.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fichaIndicador/672/1>
- MIDESO. (2020). *CASEN*. Obtenido de Distribución de hogares según la fuente de obtención de agua, según Zona: <https://datasocial.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fichaIndicador/815/1>
- MIDESO. (2020). *Encuesta CASEN* . Obtenido de Índice de acceso a servicios básicos, según Zona: <https://datasocial.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/fichaIndicador/647/1>
- Ministerio de Obras Públicas. (2023). Decreto Supremo N° 58. *Aprueba reglamento que establece el procedimiento para la elaboración, revisión y actualización, así como el monitoreo y reporte de los planes estratégicos de recursos hídricos en cuencas*.
- Miro, M. E., Groves, D., Tincher, B., Syme, J., Tanverakul, S., & Catt, D. (2021). Adaptive water management in the face of uncertainty: Integrating machine learning, groundwater modeling and robust decision making. *Climate Risk Management*, 34.
- MMA. (2020). *Cambio Climático*. Obtenido de <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/07/Taller-Macrozona-Sur-DAMI.pdf>
- MOP. (2018). *Plan Chile 30/30. El futuro no espera, se construye*. Santiago, Chile: Mandrágora.
- Neme Castillo, O., Valderrama Santibáñez, A. L., & Chiatchoua, 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

- 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/>
- 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. (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>