



# INFORME FINAL

---

*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*

Documento preparado por el Laboratorio de Análisis Territorial de la Universidad de Chile.

Equipo de trabajo:

Rodrigo Fuster, Cristián Escobar, Karla Astorga, Katherinne Silva y Paulina Aldunce

Asistentes:

Rafael Urbina e Isabó Echeverría

Santiago de Chile, 2017

## TABLA DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	5
I.1.	Objetivos.....	6
I.1.A.	Objetivo general.....	6
I.1.A.	Objetivos específicos .....	6
II.	Recopilación de antecedentes.....	7
II.1.	Metodología .....	7
II.2.	Resultados .....	7
III.	Concepto de Seguridad Hídrica .....	9
III.1.	Metodología .....	9
III.2.	Resultados .....	10
III.2.A.	Revisión de definiciones y enfoques de Seguridad Hídrica desde fuentes secundarias	10
III.2.B.	Propuesta conceptual de Seguridad Hídrica.....	16
III.2.C.	Factores condicionantes de Seguridad Hídrica .....	23
IV.	Estado actual de la Seguridad Hídrica .....	29
IV.1.	Metodología .....	29
IV.2.	Resultados .....	29
IV.2.A.	Gobernanza del agua .....	29
IV.2.B.	Gestión del agua.....	32
IV.2.C.	Conservación de Servicios ecosistémicos.....	33
IV.2.D.	Escenarios de desarrollo.....	34
IV.2.E.	Escenarios de clima.....	35
V.	Cambio Climático y Seguridad Hídrica.....	36
V.1.	Metodología .....	36
V.2.	Resultados .....	37
V.2.A.	Principales cambios observados en el sistema hídrico en Chile. ....	37
V.2.B.	Principales proyecciones de cambio climático en Chile.....	38
V.2.C.	Cambio climático como condicionante clave de la Seguridad Hídrica.....	42
V.2.D.	Consideraciones finales.....	44
VI.	Análisis de iniciativas nacionales e internacionales y su contribución a la Seguridad Hídrica	46
VI.1.	Iniciativas Nacionales .....	47
VI.1.A.	Cambio Climático .....	47
VI.1.B.	Gestión del Recurso Hídrico .....	50
VI.2.	Experiencias internacionales respecto a la aplicación del concepto de Seguridad Hídrica	53
VI.2.A.	Australia.....	53
VI.2.B.	España.....	55
VI.2.C.	México.....	57
VI.2.D.	California, Estados Unidos.....	58



VI.2.E. Región del Asia Pacífico.....	59
VII. Indicadores de Seguridad Hídrica .....	61
VII.1. Metodología.....	61
VII.2. Resultados.....	62
VII.2.A. Propuesta de indicadores e índices de Seguridad Hídrica.....	62
VII.2.B. Consideraciones finales .....	89
VIII. Análisis de brechas de Seguridad Hídrica .....	92
VIII.1. Metodología.....	92
VIII.2. Resultados.....	94
VIII.2.A. Gobernanza del agua.....	94
VIII.2.B. Gestión del agua.....	95
VIII.2.C. Conservación de servicios ecosistémicos.....	98
VIII.2.D. Escenarios de desarrollo .....	100
VIII.2.E. Brechas informativas.....	100
VIII.2.F. Brechas Transversales .....	101
IX. Lineamientos de acción para la adaptación al cambio climático.....	104
IX.1. Metodología .....	104
IX.2. Resultados .....	104
X. Vinculación con servicios públicos .....	108
X.1. Concepto de Seguridad Hídrica en Chile .....	108
X.2. Taller de validación de concepto de Seguridad Hídrica y enfoque metodológico de indicadores .....	109
XI. Bibliografía.....	111
XII. Anexos.....	117
XII.1. Anexo 1. Base de datos de antecedentes .....	117
XII.2. Anexo 2. Documentos digitales .....	117
XII.3. Anexo 3 Minutas de entrevistas realizadas.....	117
XII.4. Anexo 4. Lista de Asistencia .....	123
XII.5. Anexo 5. Taller de validación de Seguridad Hídrica y enfoque metodológico de indicadores .....	124
XII.6. Anexo 6. Lista de indicadores de Seguridad Hídrica recopilados desde la literatura .....	126



## I. INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático registrado en las últimas décadas tiene su origen en factores naturales y antrópicos, siendo este último el catalogado por la comunidad científica como el responsable de esta variabilidad climática (aumento de gases de efecto invernadero). Actualmente, el Cambio Climático, es el principal problema al que se enfrenta la humanidad, por lo tanto, los diferentes servicios y organizaciones públicas y privadas han destinado recursos para disminuir sus efectos, a través de la introducción de tecnología, los mecanismos de desarrollo limpio y la eficiencia, adaptando las prácticas, procesos productivos y conductas de la población y empresas.

En este contexto, es que el Cambio Climático, se posiciona como una de las más relevantes preocupaciones actuales en el área de los recursos hídricos, en específico de la Seguridad Hídrica. En nuestro país, el Ministerio de Medio Ambiente elaboró el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático (2008-2012) y está en elaboración el Plan de Acción para el período 2017- 2022, en el cual se expone la relevancia de los planes sectoriales de adaptación, la mitigación de sus efectos, y la generación de capacidades. En la línea de los Recursos hídricos se visualiza una alta vulnerabilidad, debido al alza de las temperaturas y disminución de precipitaciones que se proyectan en gran parte de nuestro territorio, siendo la zona centro sur la más afectada.

El Plan de Acción Nacional para el Cambio Climático recalca la importancia del sistema hídrico y las consecuencias de sus variaciones en los sistemas productivos del país, como lo es la agricultura, silvicultura, generación energética, servicios sanitarios, entre otros. En este sentido, es clave un plan de adaptación que incluya un análisis de los impactos del cambio climático en las características del recurso (calidad, disponibilidad, etc.) y en los sectores productivos; y medidas de adaptación que permita aminorarlos y eliminarlos, en aquellos casos que sea posible. En este escenario es que cobra valor el concepto de Seguridad hídrica, el cual implica que *“a cualquier nivel desde el hogar hasta lo global, cada persona tiene acceso a suficiente agua saludable a un costo asequible, para la higiene y una vista saludable y productiva, asegurando simultáneamente que el ambiente natural está protegido y mejorado”* (Peña, 2016).

El levantamiento de información respecto de la Seguridad Hídrica permitirá identificar las áreas críticas en la gestión del recurso hídrico, definir niveles aceptables de riesgos y abordar la mitigación de éstos a través de políticas públicas (Peña, 2016). Por lo tanto, en el escenario nacional, la descripción de la Seguridad Hídrica en el país permitirá avanzar y sentar las bases para la definición de un Plan de Adaptación para los Recursos Hídricos. En este contexto, el presente estudio, es considerado la primera aproximación a esta problemática ambiental en el ámbito de los recursos hídricos.

En el presente informe se abordarán la conceptualización del concepto a nivel nacional, los factores condicionantes de la Seguridad Hídrica (objetivo específico 1) y el análisis de las iniciativas nacionales e internacionales que permiten abordar los desafíos de la Seguridad Hídrica (objetivo específico 2). Adicionalmente, se exponen un análisis de los efectos del cambio climático en la Seguridad Hídrica.



## I.1. Objetivos

### I.1.A. Objetivo general

Efectuar un análisis respecto de la Seguridad Hídrica existente en el país en un contexto de Cambio Climático, con el objeto de contribuir a una gestión sustentable del recurso hídrico y como insumo al Plan de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos hídricos.

### I.1.A. Objetivos específicos

1. Desarrollar un análisis de los factores condicionantes para la Seguridad Hídrica a lo largo del país en cuanto a escenarios de déficit (sequía), excesos (inundaciones, aluviones) o aspectos de calidad de agua, y la interrelación entre estas tres condiciones en un contexto de Cambio Climático.
2. Análisis de iniciativas nacionales o internacionales que de una u otra manera permitan abordar los desafíos para una mayor Seguridad Hídrica.
3. Análisis de indicadores asociados a: a) acceso humano al agua; b) disponibilidad de agua para procesos productivos; c) cuerpos/fuentes hídricas con adecuada calidad de agua para la salud y el medio ambiente; d) reducción de riesgos en zonas relacionadas con exceso de agua.
4. Identificación de brechas / déficits para la Seguridad Hídrica nacional
5. Avanzar en la generación de líneas de acción nacional para la Seguridad Hídrica, para incorporarse en el Plan de adaptación al Cambio Climático para los recursos hídricos.



## II. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

### II.1. Metodología

Para efectos de desarrollar el análisis de la Seguridad Hídrica en el país en un contexto de cambio climático, se desarrolló la recopilación y sistematización de antecedentes base respecto al estado del arte de la Seguridad Hídrica, tanto a nivel nacional como internacional, así como aquella relativa a los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos en el país.

En particular, la recopilación de antecedentes incluyó publicaciones académicas, informes de organizaciones e instituciones internacionales, estadísticas generales sobre el uso del agua en Chile. Como principales motores de búsqueda se utilizaron la Web of Science database, Google Scholar, Google y las principales bases de datos de instituciones públicas como la Dirección General de Aguas (DGA), Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), Universidad de Chile, entre otras. A excepción de algunos documentos clave, la antigüedad de los documentos recopilados no supera los 15 años desde el año de su publicación.

Cada documento revisado fue tabulado en una base de datos Excel (Anexo 1) que contiene los siguientes campos de información: ID del documento, tema del documento, título, autor(es), año, palabras claves, descripción, editor(es), organizaciones asociadas, tipo de recurso, formato, idioma, cobertura, restricciones y observaciones generales. La principal ventaja de sistematizar los documentos recopilados en una base de datos en formato Excel es que permite realizar búsquedas en un mismo soporte de información, con el fin de direccionar al lector al documento más adecuado según sus intereses e interrogantes.

Todos los documentos recopilados y sistematizados en la correspondiente base de datos, exceptuando aquellos que no se encuentran en formato digital o que su digitalización o escaneo no fue factible, se entregan en un archivo digital como anexo al presente informe (Anexo 2). Al respecto, cada documento digital será denominado por su ID el cual corresponde a un número y que se corresponde con el ID asociado al documento en la base de datos Excel.

### II.2. Resultados

La recopilación de antecedentes incluyó la sistematización de los siguientes tipos de artículos:

- 58 artículos relacionados con cambio climático y sus impactos sobre los recursos hídricos a nivel internacional y nacional.
- 153 artículos referentes a gestión de los recursos hídricos en Chile.
- 17 documentos relacionados al marco nacional e internacional de cambio climático, los cuales incluyen aspectos políticos, institucionales y jurídicos.
- 21 artículos referentes a proyecciones de desarrollo económico y social a nivel nacional que tienen relación con los recursos hídricos.
- 101 documentos que analizan la Seguridad Hídrica. Se incluyen artículos académicos e informes relacionados con casos prácticos de aplicación del concepto.
- 47 artículos referentes a la Seguridad Hídrica y su relación con el cambio climático.



La descripción general de cada documento se encuentra en la base de datos adjunta en formato digital. En color se encuentran aquellos artículos que fueron utilizados en los análisis de los temas que conforman el presente informe.



### III. CONCEPTO DE SEGURIDAD HÍDRICA

#### III.1. Metodología

Para efectos de proponer una definición del concepto de Seguridad Hídrica ajustada a la realidad de Chile, se llevó a cabo una revisión y análisis de las definiciones del concepto propuestas tanto por organismos internacionales (ej. Organización de Naciones Unidas (ONU), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) y Global Water Partnership (GWP)) como por la literatura científica y técnica (ej. Grey y Sadoff, 2007; Cook y Bakker, 2016; Peña, 2016; Ocampo et al. 2016).

Luego de analizar un conjunto de definiciones clave, se elaboró una propuesta preliminar de definición de Seguridad Hídrica la cual fue perfeccionada a través de su discusión en reuniones de trabajo con profesionales del sector público con injerencia en la gestión de los recursos hídricos. En el Cuadro 1 se señalan los profesionales que participaron de éste proceso.

**Cuadro 1. Profesionales que participaron del proceso de elaboración del concepto de Seguridad Hídrica**

Profesional	Institución/Departamento/Unidad
Marta Sepúlveda Murillo	División de Concesiones, Superintendencia de Servicios Sanitarios
Carmen Herrera Indo	Directora Regional RM, Dirección General de Aguas
Roberto Barrera Miranda	Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas
Alberto Calatroni Vásquez	Unidad de Medioambiente y Territorio, Ministerio de Obras Públicas
Doris Águila González	Unidad de Medio Ambiente, Dirección General de Aguas Región Metropolitana, Ministerio de Obras Públicas
Andrea Osses Vargas	División de Estudios de la Dirección General de Aguas
Gustavo Calle Vásquez	División de Estudios de la Dirección General de Aguas
Nicolás Ureta Parraguez	División de Estudios de la Dirección General de Aguas
Paul Dourojeanni Schlotfeldt	División de Estudios de la Dirección General de Aguas
César Caneleo Huidobro	Unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica, Dirección General de Aguas
Ernesto Schulbach Bórquez	Unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica, Dirección General de Aguas
Carlos Flores Flores	Departamento de Administración de Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas
Brahim Nazarala	División de Hidrología, Dirección General de Aguas
Javier Narbona Naranjo	División de Hidrología, Dirección General de Aguas

Luego de trabajado y desarrollado el concepto de Seguridad Hídrica de manera participativa, se identificaron los factores que condicionan la Seguridad Hídrica del país de tal manera de determinar el actual estado a nivel nacional (ver Sección IV).



## III.2. Resultados

### III.2.A. Revisión de definiciones y enfoques de Seguridad Hídrica desde fuentes secundarias

Como respuesta a la necesidad de definir un objetivo estratégico que guíe la gestión de los recursos hídricos, tanto a escala local como global, es que durante la última década el concepto de Seguridad Hídrica ha recibido una creciente atención tanto en la literatura científica como política (Cook y Bakker, 2016) siendo también incluido, a partir del año 2000, en numerosas declaraciones y acuerdos internacionales (Peña, 2016).

El concepto de Seguridad Hídrica fue discutido ampliamente por primera vez en el II Foro Mundial del Agua<sup>1</sup> (Bogardi et al., 2016), incrementándose, a partir de esta instancia, el uso del término a un amplio rango de disciplinas. Al respecto, en la Declaración Ministerial emanada de dicho Foro se definió que Seguridad Hídrica consiste en *"asegurar que el agua dulce, las zonas costeras y los ecosistemas relacionados se encuentren protegidos y mejorados, que se promueva el desarrollo sostenible y la estabilidad política, que cada persona tenga acceso a suficiente agua potable y a un costo asequible para permitir una vida saludable y productiva, y que la población vulnerable esté protegida de los riesgos asociados al agua"*, relacionando, de esta manera, el concepto con la seguridad social (satisfacer necesidades básicas), la seguridad alimentaria, la seguridad medioambiental (protección de los ecosistemas), el valor del agua y la gestión de los riesgos asociados al agua. Es importante señalar que esta definición se diferencia de aquellas utilizadas durante la década de 1990, las cuales relacionaban la Seguridad Hídrica con una disciplina específica o ámbito único de la seguridad humana tales como la seguridad militar, seguridad alimentaria y, aunque menos frecuente, con la seguridad medioambiental (Cook y Bakker, 2016).

Pese a que la importancia asignada a la Seguridad Hídrica, como la forma de entender los desafíos en relación al uso del agua, se ha incrementado con los años, la existencia de un alto número de definiciones e interpretaciones, algunas de ellas contradictorias, han impedido la formulación de un concepto universalmente aceptado que pueda guiar de forma eficaz la gestión de los recursos hídricos (Bogardi et al., 2016). Al respecto, en 2012, un análisis sistemático en relación al tema de la Seguridad Hídrica (Cook y Bakker, 2012 y actualizado por los mismos autores en Cook y Bakker, 2016) muestra que el concepto ha sido utilizado bajo dos enfoques opuestos: un enfoque "estrecho" y reduccionista en el marco de una materia o disciplina específica y otro enfoque "general" con un alcance interdisciplinario, interinstitucional e integrador (Peña, 2016).

---

<sup>1</sup>El II Foro Mundial del Agua se realizó en la ciudad de La Haya en Países Bajos entre el 17 y 22 de marzo de 2000.

Respecto al primer enfoque, las definiciones de Seguridad Hídrica tienden a no ser consistentes entre las diferentes disciplinas siendo su foco y escala de análisis dependientes de las perspectivas y/o propósitos que cada disciplina tiene en relación al recurso hídrico (Cook y Bakker, 2016). Por ejemplo, mientras en agricultura el concepto de Seguridad Hídrica está principalmente enfocado en asegurar la disponibilidad de agua para riego y lograr la seguridad alimentaria, en el área de la ingeniería el término se asocia a la protección de la población frente a los riesgos de inundación y de déficit de recursos hídricos y a la satisfacción de las demandas de recursos hídricos por los diferentes usos (Peña, 2016). En el Cuadro 2 se muestra un resumen de diferentes definiciones de Seguridad Hídrica que se corresponden con un enfoque "estrecho" y reduccionista.

**Cuadro 2. Definiciones de Seguridad Hídrica seleccionadas desde la literatura que se corresponden con un enfoque reduccionista.**

Definición	Foco y/o observaciones de la definición	Fuente
Seguridad Hídrica es definida como "Todos los aspectos de la seguridad humana relacionada con el uso y el manejo del agua"	Focalizada en las necesidades humanas relacionadas con el agua.	Janksy et al. (2008) citados por Cook y Bakker (2016)
"Seguridad Hídrica corresponde a una condición en la cual existe una cantidad suficiente de agua con una calidad determinada, y a un precio asequible, para proteger, tanto a corto plazo como a largo plazo, la salud, la seguridad, el bienestar y la capacidad productiva de un hogar, comunidad o nación".	Focalizada en las necesidades humanas relacionadas con el agua.	Witter and Whiteford, (1999) citados por Cook y Bakker (2016).
Seguridad Hídrica se define como "la capacidad para proporcionar un suministro adecuado y confiable de agua a las poblaciones que viven en las zonas más secas del mundo con el objeto de satisfacer las necesidades de la producción agrícola".	Focalizada en satisfacer las necesidades humanas relacionadas con la seguridad alimentaria, especialmente en las zonas con déficit hídrico.	The Food and Agriculture Organization (FAO) citado por Zeitoun et al. (2016)
Seguridad Hídrica "implica la protección de los sistemas hídricos vulnerables, la protección de la población contra los riesgos relacionados con el agua, como inundaciones y sequías, el desarrollo sostenible de los recursos hídricos resguardando el acceso a los servicios y funciones relacionados con el agua".	Focalizada en los riesgos y vulnerabilidad mediante un enfoque sistémico centrado en la construcción de infraestructura.	UNESCO-Institute for Water Education (2009)
Seguridad Hídrica es tener "acceso seguro al agua en una cantidad y calidad suficiente para satisfacer las necesidades humanas básicas, medios de subsistencia a pequeña escala y servicios ecosistémicos locales, acompañado de una buena gestión de los riesgos de desastres relacionados	Concepto diseñado para apoyar la implementación de proyectos relacionados con la Seguridad Hídrica a escala local.	WaterAid (2012) citado por Zeitoun et al. (2016)



Definición	Foco y/o observaciones de la definición	Fuente
con el agua”.		
Seguridad Hídrica es “mantener los riesgos relacionados con el agua en niveles tolerables para la sociedad”.	Concepto focalizado en manejo de los riesgos. Aborda solo el sistema humano.	Grey et al. (2013)
“Seguridad Hídrica significa tener la capacidad de proporcionar agua, con calidades específicas, desde los hogares a la industria bajo condiciones satisfactorias para el medioambiente y en un precio aceptable”.	Concepto focalizado en la disponibilidad y contaminación del agua.	Xia et al. (2007) citados por Cook y Bakker (2012)

Fuente: **Elaboración propia**

Dentro del segundo enfoque están todas aquellas definiciones que de alguna manera reconocen la naturaleza compleja del sistema hídrico considerando a los distintos usuarios, usos, fuentes de agua, peligros y recursos amenazados. En este sentido la Seguridad Hídrica, bajo un enfoque general e integrador, corresponde a un concepto que permite analizar el sistema hídrico tomando en cuenta la diversidad y las interrelaciones existentes entre los diferentes componentes de los sistemas socioeconómicos, políticos y biofísicos a diferentes escalas. En el Cuadro 3 se muestran las principales definiciones seleccionadas desde la literatura que se corresponden con este enfoque.

**Cuadro 3. Principales definiciones seleccionadas desde la literatura que se corresponden con un enfoque “integrador”.**

Definición	Foco y/o observaciones de la definición	Fuente
“Disponibilidad de un nivel aceptable de cantidad y calidad de agua para la salud, la subsistencia, los ecosistemas y la producción, junto a un nivel aceptable de riesgos para las personas, el medio ambiente y la economía, asociados al agua”.	Concepto que recalca la integración de cuatro variables: satisfacción de necesidades humanas (salud y subsistencia), protección de los ecosistemas y satisfacción de la demanda de los sectores productivos y el manejo de los riesgos asociados al agua.	Grey and Sadoff, (2007)
“A cualquier nivel desde el hogar hasta lo global, cada persona tiene acceso a suficiente agua saludable a un costo asequible, para la higiene y una vida saludable y productiva, asegurando simultáneamente que el ambiente natural está protegido y mejorado”.	Concepto que considera el acceso al agua en amplio sentido, a diferentes escalas, (necesidades humanas, ecosistemas), destacando la integración de la satisfacción de las necesidades básicas humanas, la seguridad alimentaria y la protección de	Global Water Partnership (GWP), (2000)



Definición	Foco y/o observaciones de la definición	Fuente
	los ecosistemas.  Indirectamente hace mención a la existencia de una buena gobernanza del agua.	
<p>“Seguridad Hídrica consiste en tener:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Una disponibilidad de agua que sea adecuada, en cantidad y calidad, para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción.</li> <li>2. La capacidad —institucional, financiera y de infraestructura— para acceder y aprovechar dicha agua de forma sustentable y manejar las interrelaciones entre los diferentes usos y sectores, de manera coherente.</li> <li>3. Un nivel aceptable de riesgos para la población, el medio ambiente y la economía, asociados a los recursos hídricos”.</li> </ol>	<p>Definición propuesta para ser aplicada a la realidad de América Latina y el Caribe. Reconoce los principales desafíos que la región debe afrontar en relación a la gestión de recursos hídricos (Situación de disponibilidad de recursos hídricos para satisfacer requerimientos de la sociedad; las limitaciones de gestión e infraestructura; y la necesidad de establecer compromisos entre distintos sectores).</p> <p>Integra la satisfacción de las necesidades tanto humanas como de los ecosistemas y sectores productivos. A su vez incluye el manejo de riesgos y los medios para acceder al agua demandada.</p>	Peña, (2016)
<p>“Consiste en tener suficiente agua, en cantidad y calidad, para las necesidades humanas (salud, sustento y actividades productivas) y los ecosistemas, acompañada de la capacidad de acceso y aprovechamiento, de resolver las compensaciones entre los distintos sectores, y de manejar los riesgos asociados al agua, incluyendo crecidas, sequías y contaminación”.</p>	<p>Definición que considera las necesidades humanas y de los ecosistemas en un mismo nivel de importancia. Además, destaca los medios para acceder al agua y gestionarlos e incluye el manejo de los riesgos.</p>	Mason y Calow, (2012)
<p>“Mantener en niveles aceptables cuatro riesgos asociados al agua: el riesgo de escasez, como falta de agua suficiente (en el corto y largo plazo) para los usos beneficiosos de todos los usuarios; el riesgo de inadecuada calidad para un propósito o uso determinado; el riesgo de los excesos (incluidas las crecidas), entendidas como el rebase</p>	<p>Definición enfocada en el análisis de riesgos.</p>	OCDE, (2013)



Definición	Foco y/o observaciones de la definición	Fuente
de los límites normales de un sistema hidráulico (natural o construido) o la acumulación destructiva de agua en áreas que no están normalmente sumergidas; y el riesgo de deteriorar la resiliencia de los sistemas de agua dulce, por exceder la capacidad de asimilación de las fuentes de agua superficiales o subterráneas y sus interacciones, con la eventual superación de los umbrales aceptables, causando daños irreversibles en las funciones hidráulicas y biológicas del sistema”.		
“Capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política”	<p>Concepto que identifica a las “poblaciones” como el sujeto que debiese tener las capacidades necesarias para dar una adecuada Seguridad Hídrica, y no únicamente al Estado.</p> <p>Incluye la dimensión geopolítica al pretender lograr la Seguridad Hídrica en un clima de paz y estabilidad política.</p> <p>Definición utilizada en el proyecto MAPA (Cuenca río Maipo, Ocampo et al., 2016).</p>	ONU-Agua, (2013)
“Acceso sustentable, a escala de cuenca, a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable, para asegurar la salud humana y de los ecosistemas”	<p>Definición adoptada por Canadá.</p> <p>Concepto amplio que recalca el acceso al agua a nivel de cuenca considerando las necesidades humanas y de los ecosistemas en un mismo nivel de importancia.</p>	Zubrycki et al. 2011
“Asegurar que el agua dulce, las zonas costeras y los ecosistemas relacionados se encuentren protegidos y mejorados, que se promueva el desarrollo sostenible y la estabilidad política, que cada persona tenga acceso a suficiente agua potable y a un costo asequible para permitir una vida saludable y productiva, y que la población	Concepto que integra la seguridad social (satisfacer necesidades básicas), la seguridad alimentaria, la seguridad medioambiental (protección de los ecosistemas), el valor del	The Hague Ministerial Declaration (2000)



Definición	Foco y/o observaciones de la definición	Fuente
vulnerable esté protegida de los riesgos asociados al agua"	<p>agua y la gestión de los riesgos asociados al agua.</p> <p>Incluye la dimensión geopolítica al promover la estabilidad política como externalidad positiva al cumplimiento de la Seguridad Hídrica.</p>	
La Seguridad Hídrica significa "poseer una disponibilidad sostenible de agua en cantidad y calidad adecuada para mantener ecosistemas y sociedades resilientes frente a un incierto cambio global"	<p>Concepto amplio que considera la disponibilidad de agua considerando las necesidades humanas y de los ecosistemas.</p> <p>Reconoce la incertidumbre existente en relación a la dirección de los cambios globales relacionados con los sistemas políticos, económicos, crecimiento poblacional, cambio climático, etc.</p> <p>Considera la dimensión de la resiliencia como respuesta "a conceptualizaciones que inadecuadamente abordan las interacciones entre los sistemas humanos y ecológicos lo tiende a pasar por alto las posibilidades de recuperación desde una condición de inseguridad hídrica"</p>	Scott et al. 2013

**Fuente: Elaboración propia**

A pesar de que las definiciones presentadas muestran ciertas discrepancias, Peña (2016), Cook y Bakker (2016) entre otros, identificaron algunos elementos en común dentro de los cuales se pueden mencionar la sostenibilidad, la satisfacción de necesidades humanas (relacionados con el desarrollo con énfasis en la seguridad alimentaria), el acceso y disponibilidad de agua (en cantidad y calidad), y el riesgo y vulnerabilidad frente a eventos extremos. Si bien el Cambio Climático es un factor de relevancia y condicionante de la seguridad hídrica, este no es un elemento común en las definiciones expuestas.



Un aspecto importante de señalar es que los elementos de Seguridad Hídrica antes mencionados son, también, abordados por la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) a través del manejo coordinado de los recursos hídricos que permite balancear y compensar (existencia de *trade-off*) los requerimientos entre los diferentes sectores o usos demandantes de agua incluyendo los ecosistemas y la salud humana. En efecto, al igual que la GIRH la Seguridad Hídrica –al menos cuando es conceptualizada desde un enfoque general e integrador- corresponde a un concepto multidisciplinario en el análisis e inter-sectorial en su aplicación, lo que pone de manifiesto la complementariedad de ambos conceptos (Cook y Bakker 2012; Bakker y Morinville 2013; Gerlak y Mukhtarov 2015).

### III.2.B. Propuesta conceptual de Seguridad Hídrica

Tal como fue mencionado en la sección anterior, el concepto de Seguridad Hídrica ha sido abordado a través de dos enfoques: un enfoque “estrecho” o reduccionista y un enfoque general e integrador.

A pesar de que se reconoce que un enfoque “estrecho” tendría la ventaja de facilitar la operatividad del concepto al permitir la identificación y valoración de manera más precisa y focalizada de los aspectos claves que mayor preocupación revisten en relación al uso del agua (ej. disponibilidad, contaminación, seguridad alimentaria; Cook y Bakker, 2012), la presente propuesta conceptual de Seguridad Hídrica para Chile está basada en un enfoque general e integrador respondiendo, de esta manera, a la necesidad del país de promover la gestión coordinada del agua dentro de un modelo que enfatice el desarrollo y fortalecimiento de un buen sistema de gobernanza.

Por el contrario, la no inclinación a conceptualizar la Seguridad Hídrica bajo un enfoque reduccionista o estrecho se fundamenta principalmente en que la evidencia indica que cuando la Seguridad Hídrica es definida bajo este enfoque, muchas veces ésta puede ser lograda pero a expensas del medio ambiente y la salud humana (Pahl-Wolst et al., 2013). Además, se reconoce que la aplicación de políticas públicas resultantes de la aceptación de recomendaciones derivadas de este tipo de enfoque puede tener como consecuencia la exclusión de soluciones innovadoras, ser poco eficaces en abordar la dinámica y variabilidad del sistema hidrológico (ej. se corre el riesgo de sub/sobrestimar los riesgos asociados a eventos extremos), no poder garantizar la salud y desarrollo de las comunidades más vulnerables, no tomar en cuenta, en algunos casos, la diversidad social y política existente en un territorio y por ende no lograr satisfacer las necesidades de los sectores demandantes (Zeitoun et al., 2016).

Dicho lo anterior la propuesta de definición de Seguridad Hídrica para Chile implica tener:

*“Acceso al agua en un nivel de cantidad y calidad adecuada, definida por cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo, tanto para la salud, subsistencia, desarrollo socio-económico y la conservación de los ecosistemas, manteniendo una alta resiliencia frente a amenazas asociadas a sequías, crecidas y contaminación”*



Esta propuesta conceptual corresponde a una definición general e integradora ya que prioriza por igual las metas relacionadas con el bienestar humano (salud, subsistencia y desarrollo socio-

económico) con aquellas relacionadas con la conservación de los ecosistemas, incorporando también, elementos de sostenibilidad, de gestión de riesgos asociados a eventos extremos. Por otra parte, el focalizar la definición a una escala de cuenca responde a tres razones concretas: i) permite que los diferentes actores de un territorio en particular, articulen sus intereses a una escala más local promoviendo, de esta manera, el fortalecimiento de la gobernanza del agua a nivel de cuenca; ii) reconoce la heterogeneidad de los diversos territorios o cuencas del país en relación a su características climáticas, ecológicas, sociales, económicas y políticas y iii) reconoce la importancia que actualmente el Estado le está asignando a la GIRH como el paradigma válido para gestionar los recursos hídricos en el país.

Es importante señalar que esta definición no está limitada a considerar solo a los cuerpos de agua superficiales (ej. lagos, ríos y glaciares) como única fuente de recursos hídricos sino que también considera a los cuerpos de agua subterráneos como un componente integrador del sistema hidrológico y que corresponde a una fuente clave de recursos para los diferentes sectores demandantes de agua en gran parte del país.

Finalmente, esta propuesta de definición sugiere que los principales factores que condicionan la Seguridad Hídrica están relacionados, de manera general, con las características del sistema biofísico (que considera el sistema hidrológico y ecológico), con la estructura del sistema socio-económico que caracteriza a un determinado territorio y con el sistema de gobernanza.

Para efectos de implementar o dar operatividad al concepto antes definido, se proponen cuatro dimensiones que se asumen representan los principales requerimientos o preocupaciones que la sociedad demanda: i) Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano; ii) Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable; iii) Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos; y iv) Reducción de los riesgos relacionados a eventos extremos. Estas dimensiones están basadas en las cuatro áreas identificadas por Peña (2016) que se consideran prioritarias para la Seguridad Hídrica en América Latina y El Caribe y que fueron validadas y/o mejoradas en su alcance, por los diferentes actores participantes del presente estudio para efectos de adecuarlas a la realidad de Chile. Además, estas dimensiones se asociaron, preliminarmente, a diversos componentes operativos (sub-dimensiones) que deben abordarse para lograr la Seguridad Hídrica desde el nivel representado por cada dimensión al nivel general (Figura 1). En términos conceptuales estos componentes operativos representan preocupaciones particulares a cada dimensión y son, en muchos de los casos, concordantes con aquellos identificados por Ocampo et al., (2016) para la cuenca del río Maipo. Al respecto, es de importancia señalar que el conjunto definitivo de sub-dimensiones deberá ser definido a nivel de cuenca con el objeto de que estos componentes describan las principales preocupaciones existentes en cada cuenca en particular.

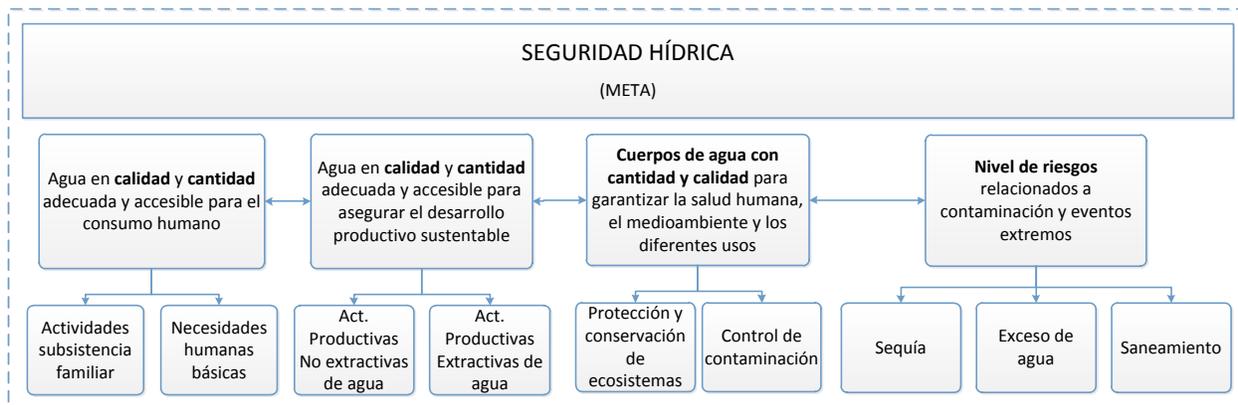
Finalmente, el marco conceptual propuesto reconoce que las dimensiones están estrechamente relacionadas entre sí, lo que significa que el no cumplimiento de las metas asociadas a una dimensión afectará potencialmente el logro de los objetivos de una o a más dimensiones.

Como fue mencionado anteriormente el fraccionamiento del concepto en cuatro dimensiones obedece a la necesidad de dar operatividad a la Seguridad Hídrica al focalizarse cada una de éstas en un objetivo de gestión de manera más precisa y directa. Esto último está en concordancia con lo



expuesto por Cook y Bakker (2012) en el sentido de que la operatividad de la Seguridad Hídrica a un nivel de gestión local probablemente requiera de la aplicación de enfoques más estrechos o reduccionistas, los cuales son recogidos, en el caso de la presente conceptualización, por cada una de las dimensiones propuestas.

**Figura 1. Dimensiones de Seguridad Hídrica y sus desafíos críticos (sub-dimensión) propuestos para Chile.**



Fuente: Elaboración propia

A continuación se definen y detallan cada una de las dimensiones propuestas:

1. **Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano.** Esta dimensión aborda el resguardo de los recursos hídricos, en calidad y cantidad, para proteger la salud pública al buscar satisfacer las necesidades básicas de la población en relación al acceso al agua potable. Esta dimensión corresponde a una preocupación prioritaria y responde a la importancia que reviste para el Estado de Chile el garantizar el uso del agua para el consumo humano<sup>2</sup>. Lo anterior se suma a que, a nivel internacional, el acceso al agua potable constituye un derecho humano fundamental que está amparado por el derecho internacional a través de la Resolución 64/292 de 2010 de la Asamblea General de las Naciones Unidas. Esta dimensión está asociada a dos áreas de importancia: i) actividades de subsistencia familiar y ii) necesidades humanas básicas.

- i. *Actividades de subsistencia familiar.* Referido a las metas y/o objetivos de Seguridad Hídrica que deben lograrse para mantener de manera sustentable las actividades de subsistencia, tales como agricultura de autoconsumo y satisfacción de medios de vida (cosmovisión), que desarrollan las comunidades locales o grupos indígenas. Esta sub dimensión no considera el agua para consumo humano, referido al agua potable y saneamiento. Estas actividades, que demanda una cantidad y calidad de agua específica, no producen excedentes que permitan comercializar en el mercado los productos o bienes derivados de éstas.

<sup>2</sup> Dentro de las indicaciones presentadas por el Poder Ejecutivo, para efectos de la modificación del Código de Aguas, está el categorizar los usos y funciones del agua estableciendo usos prioritarios entre los cuales se distinguen: i) la subsistencia: garantiza uso para el consumo humano y saneamiento; ii) preservación ecosistémica; iii) productivas.



- ii. *Necesidades humanas básicas.* En este componente se incluyen todos los objetivos y/o metas de Seguridad Hídrica relacionados con la satisfacción de las necesidades humanas básicas, referidas éstas al acceso de la población a niveles adecuados, tanto en cantidad como en calidad y de **agua potable**. Tal como lo señala Peña (2016) el acceso a los servicios de agua potable y saneamiento corresponde a un factor crítico para la salud humana que condiciona, también, los niveles de pobreza que una comunidad o población puede presentar.

**2. Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable.** Esta dimensión aborda el resguardo de los recursos hídricos en relación a la importancia que estos revisten para la economía del país. En Chile, cuya economía se basa principalmente en la explotación de recursos naturales, los principales sectores productivos tales como la agricultura, la minería y la hidroelectricidad corresponden a actividades demandantes de agua cuyos requerimientos, en calidad y cantidad, deben ser satisfechos de manera sustentable de modo de no condicionar el desarrollo económico del país. Esta dimensión está asociada a dos componentes de importancia: i) satisfacción de necesidades de actividades productivas extractivas de agua ii) satisfacción de necesidades de actividades productivas no extractivas de agua.

- i. *Satisfacción de necesidades de actividades productivas extractivas de agua.* Este componente está referido a las metas y/o objetivos de Seguridad Hídrica que deben alcanzar los sectores productivos que demandan un uso consuntivo de recursos hídricos. Se incluyen dentro de esta sub-dimensión las actividades agrícola, pecuaria, forestal e industrial.
- ii. *Satisfacción de necesidades de actividades productivas no extractivas de agua.* Este componente aborda las metas y/o objetivos de Seguridad Hídrica que deben lograr los sectores productivos que demandan un uso no consuntivo de recursos hídricos. Se incluyen dentro de esta sub-dimensión las actividades relacionadas con generación de hidroelectricidad, el turismo y la acuicultura.

**3. Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos.** Esta dimensión aborda la importancia que ha adquirido, en las últimas décadas, para el Estado de Chile la mantención y/o mejoramiento de la calidad del recurso hídrico tanto en cuerpos superficiales (ej. ríos, lagos, humedales, glaciares) como subterráneos y la mantención de caudales mínimos en cauces superficiales (ej. caudal ecológico) para efectos de garantizar la salud humana y del medioambiente así como para satisfacer las demandas hídricas por parte de la población (agua potable y saneamiento) y los diversos sectores productivos. Esta dimensión está asociada a dos componentes de importancia: i) protección y conservación de ecosistemas; y ii) control de contaminación.



- i. *Protección y conservación de los ecosistemas.* Este componente aborda las metas y/o objetivos de Seguridad Hídrica relacionados con la protección y conservación de los ecosistemas naturales tanto terrestres como acuáticos. Al respecto, estos ecosistemas demandan ciertos niveles de recursos hídricos para de esta manera mantener sus procesos y funciones ecológicas fundamentales, los que finalmente determinarán la provisión de servicios ecosistémicos relacionados con el agua.
  - ii. *Control de contaminación.* Este componente describe las metas y/o objetivos de Seguridad Hídrica relacionados con el control de la contaminación de los cuerpos de agua (superficial y subterránea) producida por las actividades silvoagropecuarias, industrial y minera, para asegurar la protección y conservación de los ecosistemas naturales tanto terrestres como acuáticos que demandan cierta calidad de recursos hídricos para mantener sus procesos y funciones ecológicas fundamentales.
- 4. Nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos.** Esta dimensión aborda la necesidad del Estado de aumentar los niveles de resiliencia de la población y por ende de disminuir su vulnerabilidad frente a eventos extremos relacionados con el exceso y déficit del recurso hídrico. Al respecto, y siguiendo lo expuesto por Peña (2016) se asume que el recurso hídrico es un recurso variable, en términos temporales y espaciales, y sujeto a eventos extremos los cuales se esperan sean más frecuentes e intensos debido al cambio climático (IPCC, 2013). Esta dimensión está asociada a dos componentes de importancia, los cuales reflejan las situaciones de exceso y déficit del recurso: i) sequía; y ii) exceso de agua.
- i. *Sequía.* Este componente está referido a las metas y/o objetivos de Seguridad Hídrica que se deben alcanzar para aumentar la resiliencia de la población frente a eventos extremos de sequías, entendida ésta última como un anomalía transitoria en la condición del clima, más o menos prolongada, caracterizada por un periodo de tiempo en el cual las tasas de precipitaciones son inferiores a las normales en un área geográfica determinada<sup>3</sup>. Este fenómeno puede causar condiciones de escasez hídrica al no poder satisfacerse la demanda existente, así como impactos sobre los recursos costeros y los ecosistemas.
  - ii. *Exceso de agua.* Este componente describe las metas y/o objetivos de Seguridad Hídrica que deben lograrse para aumentar la resiliencia de la población frente a eventos extremos relacionados con el exceso del agua tales como inundaciones, aludes y aluviones.
  - iii. *Saneamiento.* Este componente describe las metas y/o objetivos de Seguridad Hídrica relacionados con el tratamiento de aguas servidas domiciliarias tanto de origen urbano como rural. A pesar de que en Chile el tratamiento de las aguas

---

<sup>3</sup> La Dirección Meteorológica de Chile (DMC) indica, en base a lo explicitado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM; N°1006,1 2006), que la "sequía meteorológica suele definirse a partir de un umbral de déficit de precipitación que se alcanza durante un periodo de tiempo previamente determinado. El umbral escogido (por ejemplo un 75% de la precipitación normal) y el periodo de duración (por ejemplo, seis meses) variarán según el lugar, y en función de las necesidades de los usuarios y de sus actividades. Así, existen diferentes caracterizaciones de la sequía, expresadas en términos normales, deciles de precipitación y el índice de precipitación normalizado (SPI)".



servidas domiciliarias de origen urbano alcanza un nivel de cobertura superior al 99%, todavía existe una brecha en el control de este factor en comunidades rurales. Es importante señalar que el nivel de riesgo por contaminación en una cuenca también dependerá de la cobertura, tipo y condición que describa a los diferentes sistemas de tratamientos de RILES que el sector industrial posea y del número, tipo y condición de los relaves existentes en las zonas en donde exista producción minera. Al respecto, la inclusión arbitraria del saneamiento como el único componente de riesgo existente en este ámbito radica en la dificultad que merece el levantamiento eficaz de información respecto del estado actual de relaves y sistemas de tratamientos de RILES en el país lo que condiciona la aplicación de indicadores a proponer en esta sub-dimensión.

Como fue mencionado en párrafos anteriores, las dimensiones de Seguridad Hídrica están estrechamente relacionadas entre sí, por lo que el primer desafío que se debe abordar será determinar las concesiones o *trade-off* que se asumirán para efectos de cumplir las metas u objetivos impuestos en cada una de las dimensiones. En otras palabras, el no cumplimiento de las metas asociadas a una dimensión afectará potencialmente el logro de los objetivos de una o a más dimensiones.

Por ejemplo, en relación a la interrelación existente entre la dimensión “Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos” con las otras dimensiones, es posible señalar que el no poseer niveles de saneamiento adecuado puede generar externalidades negativas que pueden afectar gravemente la Seguridad Hídrica de las diversas actividades económicas y también la salud humana y de los ecosistemas. Al respecto, la falta de saneamiento de aguas servidas puede condicionar el cumplimiento de los estándares mínimos establecidos en la norma de riego (Norma NCh 1333) afectando al sector agrícola y a la industria turística al poner en riesgo tanto la salud humana como la calidad de los suelos y la inocuidad de los alimentos. Mismo razonamiento es aplicado para la falta de control de la contaminación generada, por ejemplo, por la minería, agricultura e industria. La contaminación proveniente de dichas fuentes tiene una repercusión directa y negativa para alcanzar la Seguridad Hídrica en relación, por ejemplo, a la satisfacción de las necesidades básicas de consumo humano (Dimensión 1 respecto al agua potable), y la satisfacción de la demanda de agua por parte de los diferentes sectores productivos.

#### ***j) Consideraciones finales respecto a la conceptualización de Seguridad Hídrica***

Tal como fue expuesto anteriormente, la definición de Seguridad Hídrica propuesta para Chile está basada en un enfoque general e integrador que reconoce el rol del agua tanto como fuente proveedora de servicios (para satisfacción de necesidades humanas, la economía y el medioambiente) así como fuente de amenazas (ej. crecidas y sequía). Esta conceptualización hace evidente el hecho que para alcanzar la Seguridad Hídrica será clave contar con un sistema de gobernanza y de gestión del agua que permita establecer los equilibrios y concesiones entre los diferentes requerimientos que la sociedad y los sistemas ecológicos demandan bajo condiciones de alta incertidumbre respecto a la evolución del clima y de los sistemas sociales, políticos y económicos.



Por otra parte, para efectos de dar operatividad al concepto se propusieron cuatro dimensiones, tres de las cuales demandan la disponibilidad de recursos hídricos en una cantidad y calidad calificada como de *adecuada* y *accesible*. Al respecto, lo que es adecuado y accesible puede ser sujeto de varias interpretaciones por diferentes grupos de actores. Siguiendo lo propuesto por Pahl-Wostl et al. (2013) será clave preguntarse:

- ¿Qué significa lograr y mantener un nivel *adecuado* y *accesible* en términos de calidad y cantidad de agua para satisfacer las necesidades humanas básicas, de los sistemas ecológicos, y de cada uno de los sectores productivos demandantes de recursos hídricos?
- ¿Cómo estos niveles pueden ser determinados para cada una de las dimensiones y sub-dimensiones de Seguridad Hídrica?

En concordancia con lo expuesto por Pahl-Wostl et al. (2013) será clave decidir, en primer lugar, si los sistemas ecológicos deben ser incluidos en los cálculos de la demanda por recursos hídricos y si es así, identificar los mecanismos y procedimientos que puedan dar a estos sistemas una voz como actor o “*stakeholder*” dentro de la gobernanza y al mismo nivel que los demás actores y usuarios del agua. En segundo lugar la conceptualización de Seguridad Hídrica propuesta en el presente estudio entrega, en gran medida, a la gobernanza del agua existente a nivel de cuenca la responsabilidad de determinar los objetivos y metas para cada dimensión y sub-dimensión respecto a los requerimientos de recursos hídricos (en cantidad y calidad) en los niveles *adecuados* y *accesibles*. En otras palabras será la gobernanza del agua a nivel de cuenca quien definiría, en gran medida y en concordancia con el marco legal existente, el nivel *adecuado* y *accesible* en términos de calidad y cantidad de agua para las diferentes dimensiones. No obstante lo anterior, es importante señalar que la meta general que debe siempre guiar el logro de la Seguridad Hídrica en cada dimensión será el satisfacer los requerimientos de todos los intereses declarados en el concepto general de Seguridad Hídrica propuesto.

Otro aspecto que es clave abordar es el manejo de los riesgos relacionados con eventos extremos, en particular bajo el contexto de cambio climático. El desarrollo de infraestructura tanto para incrementar la capacidad de almacenamiento para reducir los efectos de las sequías como para reducir los efectos de las crecidas e inundaciones ha sido una de las principales formas de mantener los riesgos relacionados con el agua dentro de límites controlables y tolerables. Sin embargo, estas soluciones a menudo han ignorado las implicancias sobre los sistemas ecológicos, los cuales en mucho de los casos han visto disminuidos tanto su estructura como sus funciones (Pahl-Wostl et al. 2013). Por otra parte, este tipo de manejo basado, principalmente, en la habilidad de predecir los factores clave (y sus rangos de incertidumbres asociadas) que determinan la ocurrencia de eventos extremos (ej. Sequías, inundaciones y aluviones) y la magnitud de sus efectos no han demostrado, en los últimos años, ser totalmente confiables bajo condiciones altamente cambiantes y con altos niveles de incerteza como lo es, por ejemplo, el cambio climático (Allan et al. 2013; Pahl-Wostl 2016). Esto último debido, en parte, a que el conocimiento o la evidencia disponible no es suficiente para respaldar la adopción de un marco probabilístico para efectos de predecir el rol que estos factores tienen sobre la incidencia y magnitud de eventos extremos ni menos aún sus rangos de incertidumbre asociadas (Hall y Borgomeo, 2013). En otras palabras, los supuestos basados en



límites históricos (ej. "año normal"; "periodos de retorno", entre otros) para predecir la variabilidad en el largo plazo de los principales componentes del ciclo hidrológico (ej. precipitación, sublimación y escorrentía) y por ende la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos deberán ser cuestionados y reanalizados en sus enfoques debido a que la magnitud de los cambios esperados en el sistema climático son altamente inciertos tanto en el espacio como en el tiempo.

En este sentido es que el manejo del riesgo debe evitar basarse en medidas de predicción y control focalizadas solo en soluciones técnicas que traten de manejar los riesgos de forma individual y aislada. Por el contrario, estos deberán abordarse con un enfoque integrador y sistémico, reconociendo la complejidad, la interrelación, los altos niveles de incertidumbre que caracterizan a los sistemas socioeconómicos, políticos y climáticos. En este contexto, la gestión del riesgos debe focalizarse en la disminución de la vulnerabilidad, entendiéndola como "las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hace susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza". La vulnerabilidad se compone de tres factores, la exposición<sup>4</sup>, susceptibilidad<sup>5</sup> y la resiliencia<sup>6</sup>, todo ellos relevantes al momento de evaluar los riesgos y los mecanismos a través de los cuales se puede disminuir y controlar (González *et al.*, 2013).

Finalmente, a pesar de los grandes desafíos que reviste la adopción y aplicación del concepto de Seguridad Hídrica en una futura política de recursos hídricos en el país, del análisis desarrollado en las secciones anteriores se desprende que, al igual que lo explicitado por Peña (2016), dentro de las principales ventajas que implican la aplicación del concepto está su contribución a la identificación de los temas y áreas que son críticos para una adecuada gestión de los recursos hídricos ayudando, de esta manera, a orientar dicha gestión al definir criterios para establecer metas y objetivos con un enfoque general e integrador, tomando en cuenta la evolución de la situación actual con el propósito de identificar los riesgos relacionados con el agua que se deberán enfrentar en el futuro, principalmente bajo los escenarios de incertidumbre que caracterizan al cambio climático. De lo anterior se desprende que centrarse en la Seguridad Hídrica constituye una estrategia sólida de adaptación temprana al cambio climático (GWP, 2010), ya que permite generar líneas de acción focalizadas en los objetivos de gestión que revisten mayor relevancia en una cuenca en particular tomando en cuenta su grado de vulnerabilidad frente a los cambios en el clima. Finalmente, es importante señalar que al igual que lo declara GWP (2010), el alcance de aplicación de la Seguridad Hídrica no es abordar el espectro completo de los objetivos sociales, económicos y ambientales que el país aspira a cumplir, sino que prever las condiciones para que el recurso hídrico no sea un factor limitante para el logro de tales objetivos.

### III.2.C. Factores condicionantes de Seguridad Hídrica

Como fue declarado en la sección anterior, cuatro factores generales considerados como condicionantes de la Seguridad Hídrica se pueden desprender de la definición propuesta: 1. la gobernanza, 2. la gestión del agua, 3. el clima y 4. la realidad socio-económica y política (o

<sup>4</sup> Condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo.

<sup>5</sup> Grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso.

<sup>6</sup> Capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas



escenarios de desarrollo). Sin embargo, a estos cuatro factores se le debe adicionar un quinto que dice relación con la conservación de los servicios ecosistémicos.

- 1. Gobernanza del agua.** La gobernanza del agua definida como “el conjunto de procesos políticos, organizacionales y administrativos a través de los cuales los intereses y requerimientos de la comunidad son articulados e incorporados, las decisiones son tomadas e implementadas, y los tomadores de decisiones desarrollan y gestionan los recursos hídricos para proveer servicios de agua efectivos (Bakker, 2003 citado por Bakker y Morinville, 2013)” es considerado un factor clave que determina el logro de la Seguridad Hídrica en todas sus dimensiones. Tal como fue descrito en la sección anterior, es la gobernanza del agua a nivel de cuenca la cual definirá, en gran medida y en concordancia con el marco legal existente, el nivel *adecuado* y *accesible* en términos de calidad y cantidad de agua para las diferentes dimensiones de Seguridad Hídrica. Este factor se considera crítico para efectos de lograr la Seguridad Hídrica en Chile, debido a que muchos de los problemas relacionados con la gestión de los recursos hídricos han estado asociados más a fallas en el régimen de gobernanza que a la condición base del recurso en sí mismo (ej. Fuster et al. 2009; Bauer 2015). Por ejemplo, Bauer (2015) argumenta que el uso de los mercados de agua para mejorar el uso y gestión del agua fomentado por un marco institucional en el cual las agencias regulatorias estatales han estado altamente constreñidas ha condicionado que los sistemas de gobernanza del agua no sean capaces de resolver los diferentes conflictos por el agua que han surgido en los últimos años, especialmente entre múltiples derechos de agua, usos y valores.
- 2. Gestión del agua.** El tipo de gestión del agua, entendido como la forma en que el recurso hídrico es administrado por una gobernanza en particular, es considerado un factor clave que condiciona la Seguridad Hídrica al determinar la forma en que los diferentes aspectos económicos, sociales y ambientales se relacionan entre sí para enfrentar los problemas asociados al uso del agua. Al igual que para el caso de la gobernanza, la gestión del agua es considerado un factor crítico para el logro de la Seguridad Hídrica en el país. En general, la gestión del agua en Chile ha carecido de un marco adecuado que permita abordar las interrelaciones existentes a nivel de cuenca entre los diversos usos y el medioambiente, lo que ha traído como consecuencia el surgimiento de variados conflictos entre los diferentes usos múltiples de agua (Bauer 2015). En efecto, la mayoría de las cuencas del país aún carece de organismos de cuencas hidrográficas efectivas que permitan coordinar los diferentes usos del agua en la cuenca y resolver los diferentes conflictos que surgen entre los diferentes usuarios (DGA, 2016).
- 3. Escenarios de clima.** Los efectos del cambio climático, producto del calentamiento global es considerado un factor condicionante de la Seguridad Hídrica en todas sus dimensiones. Esto último se debe a que los efectos del cambio climático tanto a mediano como a largo plazo se visibilizarán, en gran parte, en el comportamiento del ciclo hidrológico por ejemplo, a través de la variación del régimen estacional de los caudales y la recarga de los acuíferos, y de la afectación de la capacidad de los sistemas ecológicos de proveer agua, tanto en cantidad como en calidad, para satisfacer las necesidades de Seguridad Hídrica de todas las



dimensiones. Para el caso particular del país, diversos estudios (ej. Rojas, 2012; Santibáñez et al. 2016) han sido consistente en proyectar cambios en los patrones de precipitación para gran parte del territorio nacional, lo que se manifestarían principalmente en una disminución de las tasas de precipitación en las zonas norte, centro y sur de Chile. A modo de ejemplo, el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)<sup>2</sup> señaló que cerca de un cuarto del déficit de precipitación durante la última sequía (2010-2015) que condicionó la disponibilidad de agua en gran parte del país fue atribuible al cambio climático antrópico. Un mayor detalle respecto a este factor y su influencia sobre la Seguridad Hídrica se muestra en la Sección V.

4. **Escenarios de desarrollo.** Se entenderá como escenarios de desarrollo a las características de los sistemas político, legal, social y económico que describen la realidad del país en un momento determinado y que tienen una incidencia directa en el logro de la Seguridad Hídrica en cada una de sus dimensiones. Por ejemplo, las principales características orientadoras del actual Código de Aguas que incluyen la generación de derechos sólidos de aprovechamiento de agua (consuntivos y no consuntivos), la creación de mercados de aguas y un rol reducido del Estado en la gestión del recurso, son variables que tienen una incidencia directa en el logro de la Seguridad Hídrica al menos en tres de las cuatro dimensiones propuestas (D1: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano; D2: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable; D3: Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos). De la misma manera, se esperan que factores tales como las normas de calidad de agua (tanto primarias como secundarias), la actual política energética en relación al incentivo que se le da a la generación hidroeléctrica, los procesos de urbanización y expansión de ciudades, las transformaciones demográficas, el aumento progresivo de los ingresos por parte de la población, la mantención de una economía basada en la explotación de los recursos naturales, entre otros, tengan un repercusión directa sobre la Seguridad Hídrica del país.
5. **Conservación de servicios ecosistémicos.** Los ecosistemas (acuáticos y terrestres), entendidos como sistemas que están conformados por factores abióticos (medio ambiente físico) y bióticos (organismos vivos) que interactúan entre sí conformando una unidad funcional (Bradshaw y Sykes, 2014), proveen, a través de sus funciones, una serie de servicios ecosistémicos (SS.EE)<sup>7</sup> que contribuyen a generar beneficios para la sociedad, estando muchos de ellos en estrecha relación con la Seguridad Hídrica. Al respecto, dentro de los SS.EE que generan beneficios relacionados con la Seguridad Hídrica a nivel de cuenca están: la mantención de un clima local estable para las actividades humanas, el riego y

---

<sup>7</sup> Para efectos del presente estudio se considera la conceptualización de servicios ecosistémicos propuesta por Haines- Young and Potschin (2012) la cual corresponde al enfoque adoptado por el Ministerio del Medio Ambiente. Declarado lo anterior, se concibe a los servicios ecosistémicos (SS.EE) como *"la contribución directa o indirecta de los ecosistemas al bienestar humano"*. Aquellos SS. EE. de *contribución directa* son llamados servicios finales mientras que aquellos de *contribución indirecta* son clasificados como servicios intermedios. Esta conceptualización separa los SS.EE. de las funciones y procesos ecosistémicos. Mientras los procesos ecosistémicos son definidos como *"cualquier cambio o reacción que sucede en un ecosistema"*, las funciones ecosistémicas son *"un subconjunto de interacciones entre estructura y procesos biofísico que sustentan la capacidad de un ecosistema de proveer bienes y servicios"*. Siguiendo a Haines- Young and Potschin (2012), la Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) clasifica a los SS.EE. en: servicios de regulación, provisión y culturales. Los servicios denominados como "servicios de soporte" por Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) son considerados funciones ecosistémicas por CICES.



drenaje natural, la prevención y protección frente a inundaciones y eventos extremos, la regulación de desechos por procesos naturales, químicos y físicos, entre otros<sup>8</sup>. Los ecosistemas también proveen los SS.EE de agua, tanto en calidad como en cantidad, para usos consuntivos (ej. consumo animal, consumo humano, consumo industrial, etc.) y no consuntivos como el turismo, generación de hidroelectricidad navegación y recreación.

Este fuerte nexo existente entre los ecosistemas y la Seguridad Hídrica, el cual se origina a través de la provisión de los SS.EE antes mencionados, pone a éstos últimos como un factor clave que potencialmente puede condicionar el logro de la Seguridad Hídrica en cualquiera de las dimensiones propuestas (Tickner y Acreman 2013; Pahl-Wostly y Knüppe, 2016).

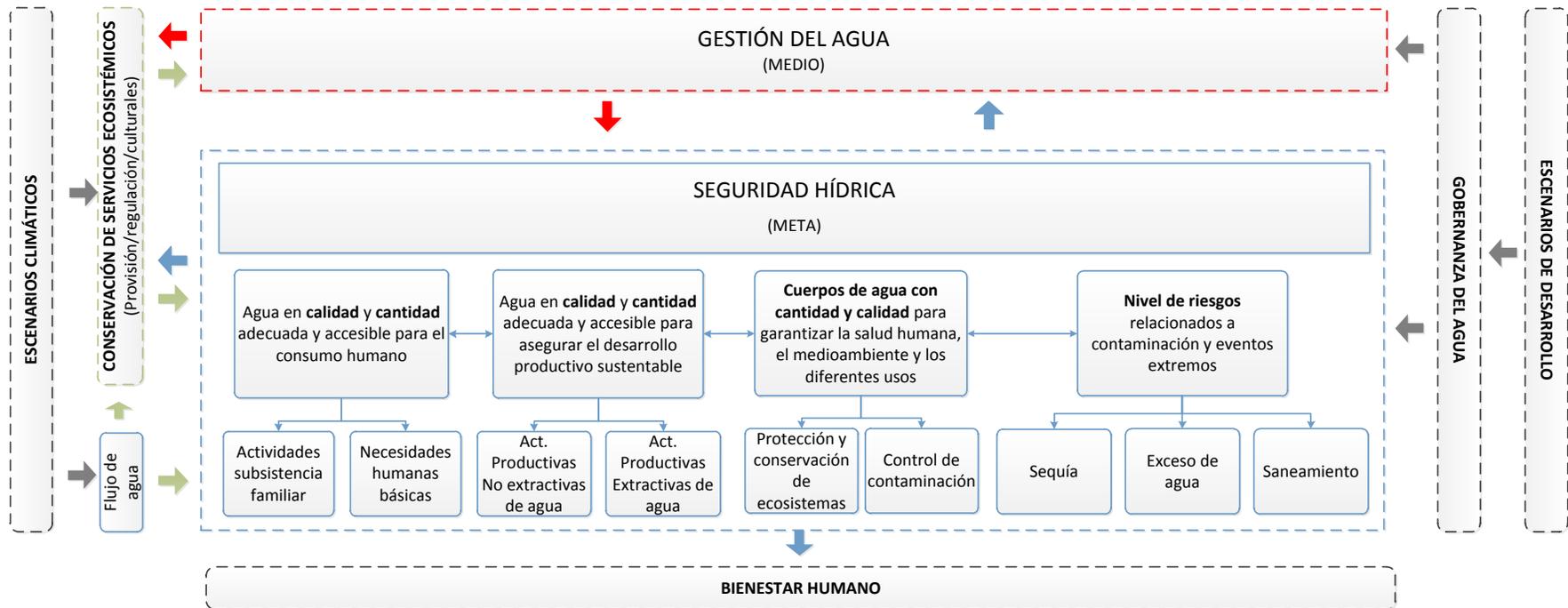
En la Figura 2 se esquematiza las interrelaciones existentes entre Seguridad Hídrica y los diferentes factores condicionantes antes mencionados.



---

<sup>8</sup> Para mayor detalle ver CICES versión 4.3 y <http://www.ecosystemserviceseq.com.au/index.html>

Figura 2. Factores considerados condicionantes de la Seguridad Hídrica para Chile.



Fuente: Elaboración propia



*i) Consideraciones finales respecto a los factores condicionantes de la Seguridad Hídrica*

Aunque la Figura 2 ilustra el marco conceptual, que en opinión del equipo de la Universidad de Chile, integra los principales componentes involucrados en el uso del agua, es importante señalar que una conceptualización de Seguridad Hídrica bajo un enfoque general e integrador, como el propuesto para el país en el presente estudio, demanda inevitablemente la aplicación de un modelo de gestión respaldado por un sistema de gobernanza que busque conciliar el aprovechamiento de los recursos naturales de una cuenca de manera equitativa entre los diferentes usuarios asumiendo la interdependencia existente entre ellos y los sistemas ecológicos.

Respecto al tipo de gestión, el sistema que se propone como adecuado y complementario a una definición integradora de la Seguridad Hídrica es la **Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)** entendida ésta como un paradigma cuya visión amplia e interdisciplinaria reconoce y trata las interconexiones entre aspectos sociales, técnicos, políticos, económicos y ambientales referentes al agua (Bauer, 2015). Lo anterior se respalda por lo señalado en la literatura (ej. Cook y Bakker 2012; Lankford et al., 2013; Gerlak y Mukhtarov, 2016; Pahl-Wostl et al., 2016) la cual señala que, en general, la Seguridad Hídrica -conceptualizada bajo un enfoque integrador- al incorporar y extender elementos claves de la GIRH, como por ejemplo la disponibilidad de agua, la vulnerabilidad de la población, la satisfacción de las necesidades humanas y de los sistemas ecológicos y la sostenibilidad, puede ser aplicado como un concepto complementario e interdependiente a la GIRH. En este sentido mientras la GIRH es una estrategia centrada en los *medios*, la Seguridad Hídrica destacaría un objetivo o meta a alcanzar, basado este último en una visión o imagen objetivo (a nivel de cuenca para el caso de Chile), con umbrales mínimos asociados, que permitirían anticiparse y responder de mejor manera a los riesgos (Bakker y Morinville, 2013).

En referencia al tipo de gobernanza del agua que debería ser adoptado, este corresponde a un factor aún más crítico que el tipo de gestión a definir debido que será la gobernanza el condicionante principal del tipo de gestión a adoptar y de que ésta se aplique con éxito. Tomando en cuenta el actual contexto climático, socioeconómico y político, el cual se caracteriza por ser altamente dinámico con un alto nivel de incertidumbre, el tipo adecuado que se propone es el de la **Gobernanza Adaptativa**. Al respecto, esta tipo de gobernanza se sustenta en las diferentes redes existentes entre actores, organizaciones e instituciones a diferentes niveles jerárquicos, de organización y de toma de decisiones, lo cual le permite, a la gobernanza, adaptarse continuamente a la dinámica de los sistemas antes mencionados. Dentro del marco de la gobernanza adaptativa existen dos conceptos relevantes que son complementarios al concepto integrador de Seguridad Hídrica: la gobernanza policéntrica y el aprendizaje social (Bakker y Morinville, 2013). Al respecto, la gobernanza policéntrica, implica que la toma de decisiones está distribuida en distintos centros de diferentes niveles, de tal manera que el poder es redistribuido en la toma de decisiones, incluyendo a la sociedad civil y a la comunidad, los cuales adquieren un papel cada vez más importante en la gestión de los recursos naturales. Respecto al aprendizaje social, este corresponde a un proceso exploratorio e iterativo de los actores en el cual se van adquiriendo conocimiento en la medida que se hace la gestión a través de la socialización de experiencias e ideas, permitiendo superar las limitaciones y enfrentar los problemas de estos sistemas complejos (Bakker y Morinville, 2013).



## IV. ESTADO ACTUAL DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

### IV.1. Metodología

En el siguiente apartado se describe de manera preliminar el estado actual de la Seguridad Hídrica, a través del análisis de los factores condicionantes de ésta: i) gobernanza del agua; ii) gestión del agua; iii) conservación de servicios ecosistémicos; iv) escenarios de desarrollo; y v) escenarios de clima. El análisis de estos factores permite comprender de manera general el estado actual de la Seguridad Hídrica y la situación de vulnerabilidad de los recursos hídricos. Este análisis se enriquecerá en el informe N° 2, una vez establecida la batería de indicadores correspondiente lo que permitirá establecer un diagnóstico mas objetivo.

### IV.2. Resultados

#### IV.2.A. Gobernanza del agua

Como se señaló anteriormente, se ha identificado que los modelos de gobernanza son un aspecto clave que condiciona la seguridad hídrica de un territorio.

En Chile, si bien el agua es un bien nacional de uso público, la administración del recurso recae en los usuarios titulares de un Derecho de Aprovechamiento de Agua (DAA). Cualquier persona natural o jurídica puede solicitar a la DGA DAA, los cuales funcionan en la práctica como derechos de propiedad sobre un volumen de agua por unidad de tiempo, sin caducidad y de libre transferencia. La DGA no puede negar el otorgamiento de DAA a menos que el agua no esté disponible o que su extracción afecte los DAA de terceros, motivo por el cual actualmente algunos cauces se encuentran declarados agotados. Del mismo modo, tampoco puede quitar DAA otorgados, por lo cual los problemas de sobreotorgamiento no han sido fáciles de solucionar. Tampoco puede priorizar el otorgamiento de derechos para determinados usos por sobre otros, ya que se espera sea el mercado el que regule la óptima distribución del recurso; lo que efectivamente ha ocurrido desde una perspectiva de productividad económica (Fuster, 2013), pero en desmedro de otros usos de menor valor y/o de interés público.

El diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos en Chile del Banco Mundial (2011) sintetizaba el resultado de este modelo señalando que "la situación de los recursos hídricos durante las tres últimas décadas ha estado menos influenciada por el propio sector del agua que por la estrategia de desarrollo nacional y por las políticas macroeconómicas y de otros sectores".

En este contexto es que toman particular relevancia los modelos de gobernanza que permitan articular los múltiples intereses que recaen sobre la gestión de los recursos hídricos, como también de sus externalidades. Sobre todo considerando que otro aspecto de particular influencia sobre la seguridad hídrica del país, son los efectos del cambio climático, los cuales requieren una respuesta fuertemente articulada de parte de todos los actores para afrontar de mejor manera la incertidumbre que conllevan.

En la legislación actual, las Organizaciones de Usuarios (OU) son una instancia de descentralización de algunos aspectos de la gestión de los recursos hídricos, como la captación y distribución del



recurso, la construcción de obras menores, mantención y mejora de la infraestructura hidráulica, y en algunos casos de la fiscalización y sanción, y del levantamiento de la información hidrométrica.

La constitución de las OU es voluntaria, de modo que la DGA sólo puede promover su constitución. Suelen constituirse en torno a secciones, tramos o afluentes de los cuerpos de agua y no a nivel de cuenca, con el principal objetivo de distribuir el agua y administrar conjuntamente los costos de mantención y construcción de infraestructura. Por lo tanto, la capacidad de las organizaciones para resolver conflictos en torno al agua queda referida a un ámbito local e interno a la organización.

Este modelo de organización seccional y el ejercicio del derecho por parte de los titulares conlleva un aumento en la conflictividad entre las secciones de un mismo cauce y entre titulares de una misma sección, por ejemplo aquellos que surgen entre secciones de una misma cuenca, en donde las secciones de aguas abajo dependen fuertemente de la gestión que hagan del recurso las secciones aguas arriba y del comportamiento individual de los titulares. En este sentido, cobra relevancia la repartición de las aguas dentro de una sección, canal o zona de jurisdicción de una OU, la cual se basa en la disponibilidad existente en esta, de modo que las secciones aguas abajo muchas veces dependen fuertemente de los flujos de retorno, no gestionados, que ocurren aguas arriba. Generalmente, estos conflictos entre distintas OU, en el modelo actual, es resuelto en los tribunales de justicia. Este, es uno de los motivos que se han planteado para avanzar en la dirección de la gestión integrada de los recursos hídricos, de modo de mejorar la actual gestión y participación del recurso hídrico.

Respecto a la representatividad interna de las OU, se observa que aquellas organizaciones que poseen mayor heterogeneidad entre los sectores productivos que utilizan el agua, no logran representar todos los intereses. Además, producto del sistema de ponderación de votos, suelen existir fuertes asimetrías de poder entre los usuarios que poseen derechos por grandes caudales y aquellos con pequeños caudales, lo que facilita que las directivas de las organizaciones queden constituidas por los grandes usuarios (Fuster, 2013).

Las Juntas de vigilancia son las OU con mayores potestades, sin embargo son las menos frecuentes. La mayoría de las organizaciones que se han constituido corresponden a Comunidades de aguas sobre cauces artificiales. Cuando no hay Junta de Vigilancia, la DGA es responsable de la administración de los recursos hídricos en los cauces naturales, pero en general la DGA no cuenta con el personal suficiente para cumplir dicha responsabilidad en todas las zonas del país (Banco Mundial 2011).

Además, existe un sesgo importante en la constitución de OU en torno a las aguas superficiales. Actualmente existen apenas 11<sup>9</sup> comunidades de aguas subterráneas en el país (DGA 2016), 10 de las cuales fueron recientemente constituidas. Considerando el nivel de sobreotorgamiento de DAA subterráneas, sería esperable que haya una mayor organización de los usuarios para mejorar la gestión de los acuíferos o bien estas nuevas organizaciones permitirán iniciar un proceso de mayor participación, organización, conocimiento y aprendizaje comunitario, no obstante, los resultados de

---

<sup>9</sup> De estas 11 Comunidades de Agua, una administra las aguas subterráneas de un sector del acuífero de Copiapó y las otras 10 administran sectores acuíferos de las cuencas de los ríos Ligua y Petorca, por lo que la representación a nivel nacional queda limitada a estos territorios hasta el momento.

estas dependerán de una diversidad de elementos, entre los cuales se encuentra la capacidad de organización, la transparencia, y el equilibrio de interés y poderes políticos y económicos.

En la regulación actual de los recursos hídricos no se identifican otros mecanismos de descentralización de funciones o de participación en la toma de decisiones (Fuster, 2013). No obstante, en la regulación medio ambiental asociada a la evaluación de impacto ambiental, se contempla un proceso de participación ciudadana en donde, de verse afectada la cantidad o calidad del recurso hídrico, la ciudadanía puede manifestarse al respecto en las instancias de consulta. Luego, depende del Servicio de Evaluación Ambiental la incorporación de alguna medida, en su mayoría compensatorias, para afrontar los problemas detectados.

Por otro lado, en algunas regiones del país se han implementado Mesas regionales del Agua, las cuales son lideradas por la DGA y presididas por el Gobierno Regional. Sus principales objetivos son discutir sobre un marco estratégico regional que considere los intereses intersectoriales y medio ambientales del territorio, y orientar el quehacer de los servicios públicos, en particular del Ministerio de Obras Públicas, en todo lo relacionado con la gestión del agua, siempre en dicho contexto estratégico. Las Mesas del Agua son la única instancia de gestión planteada a nivel de cuenca, permitiendo observar el panorama completo de la gestión del agua en un territorio coherente con el comportamiento hídrico. La participación en las Mesas del Agua es voluntaria, y las decisiones que ahí se toman no son vinculantes, sino indicativas. Su principal forma de avanzar hacia una gestión efectiva son los acuerdos entre las partes interesadas. En este sentido, estas instancias son actualmente el mecanismo más completo respecto a la participación de los actores vinculados al agua en la toma de decisiones, convocando a una amplia gama de actores del sector público y privado que pueden llegar a acuerdos respecto a, por ejemplo, la planificación de la inversión pública. No obstante, es un instrumento informal, perfectible y un punto de partida para avanzar en la instauración de una gestión integrada de recursos hídricos en el país.

Algunos de los logros que se han observado producto de su constitución son el fortalecimiento de la fiscalización y de la planificación de la infraestructura hidráulica sobre la base de las necesidades reales y urgentes de los usuarios del agua en las cuencas. Por ejemplo, en Copiapó fue posible restablecer un curso mínimo de agua en el río producto los esfuerzos mancomunados puestos en la fiscalización (Fuster *et al*, 2009).

En este contexto entonces, la realidad en torno a la gobernanza del agua a nivel país muestra una alta heterogeneidad respecto a la existencia de OU que puedan cumplir con el rol basal de distribuir las aguas entre los usuarios, luego sus funciones establecidas en la ley se limitan al rol de administración de las aguas dentro de su jurisdicción, que como se ha señalado suele estar segmentada por lo que no refleja las condiciones a nivel de cuenca respecto de la Seguridad Hídrica, y por último no incorpora a todos los actores presentes en los territorios sino que solo a los titulares de DAA. A su vez, las denominadas mesas del agua que tienen una representación territorial asimilable a las cuencas hidrográficas y que convoca a representantes de los diferentes actores territoriales, no cuentan con el respaldo normativo, institucional ni presupuestario que transforme sus decisiones en acciones vinculantes.



Este escenario de gobernanza entonces presenta una brecha importante al momento de abordar el desafío de establecer la seguridad hídrica y los mecanismos de gestión para alcanzarla tanto a nivel nacional como a escala de cuenca.

#### IV.2.B. Gestión del agua

Los problemas asociados a la gestión actual de los recursos hídricos en Chile ya ha sido analizada previamente (ej. Banco Mundial, 2011; Fuster *et al.*, 2009). En términos generales, relativos a la Seguridad Hídrica, existen las siguientes problemáticas: la sobreexplotación de las aguas producto del sobreotorgamiento de DAA (tanto superficiales como subterráneas), los problemas de contaminación por falta de regulación, la falta protección de los requerimientos ambientales, y la escasa fiscalización del cumplimiento de las regulaciones.

Los problemas de sobreotorgamiento son particularmente complejos considerando que la DGA no tiene la facultad de caducar o dejar sin efecto derechos otorgados, y ciertamente pocos usuarios estarían dispuestos a desestimarlos. El pago de patentes por no uso es un mecanismo que apunta en esa dirección, pero no ha resultado efectivo en el caso de los usos consuntivos de alto valor económico (Banco Mundial, 2011). Además, la gestión de los derechos se topa también con un problema lateral, relativo a la información disponible sobre los derechos asignados, ya que muchos de ellos no se encuentran regularizados. Problema que afecta también el correcto funcionamiento del mercado.

Respecto al control de la contaminación de las aguas, durante las últimas décadas se han visto avances importantes en la materia. La formulación de normas de emisión industrial, la inversión en el tratamiento de las aguas, la creación del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, entre otras, ha permitido una importante disminución de la carga de contaminantes sobre los cursos de agua. No obstante, aún existen brechas importantes para avanzar en esta materia, por ejemplo en la formulación de normas secundarias de calidad ambiental que mejoren la calidad de las aguas no solo para los usos antrópicos, sino también para la Biodiversidad que de ella dependen. Las aguas subterráneas, particularmente vulnerables, se encuentran sometidas a impactos con mayores dificultades respecto a la gestión. En este sentido, regular la contaminación difusa agrícola y forestal, los impactos de los pasivos ambientales de la minería son brechas importantes en la materia. Por otro lado, los humedales costeros, como los estuarios, son también particularmente vulnerables respecto a la contaminación, ya que son depositarios finales de lo que ocurre en las cuencas y actualmente no cuentan con protección.

La protección de los requerimientos ambientales también es un aspecto de la gestión que ha mejorado con la creación del Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental y con la reforma al Código de Aguas que introdujo los caudales ecológicos. No obstante, en muchos casos la regulación llegó tarde, ya que existen cursos de agua que no cuentan con disponibilidad para este objetivo.

Finalmente, señalar que un problema transversal a las regulaciones antes mencionadas, es la dificultad que enfrentan los organismos del Estado para la fiscalización de su cumplimiento. En este sentido, la creación de la Superintendencia del Medio Ambiente fue un avance en esta materia en lo que respecta a la regulación ambiental y a la coordinación de los organismos del Estado que tienen injerencia en esta materia. Por otro lado, cabe señalar que la buena organización de los usuarios, ya



sea a través de las Mesas del Agua o de constitución de Juntas de Vigilancia, son herramientas que han demostrado fortalecer la capacidad fiscalizadora de los cuerpos de agua. En este sentido, una mayor cobertura de cuerpos de aguas superficiales con Juntas de Vigilancias y un aumento en la conformación de Comunidades de aguas subterráneas, es donde se aprecia una mayor brecha para la mejor gestión del recurso.

#### IV.2.C. Conservación de Servicios ecosistémicos

El agua es parte fundamental de los ecosistemas. Tanto los componentes bióticos como abióticos influyen directamente sobre el ciclo del agua, y a su vez el agua influye sobre estos componentes. La vegetación, por ejemplo, presta importantes servicios ecosistémicos a la sociedad al mejorar la calidad del agua que llega a los ríos al contener la erosión de los suelos en el escurrimiento. Al mismo tiempo el agua es un elemento fundamental para la existencia de la vegetación, transformándose en un usuario más del recurso en una cuenca.

Si bien existe amplio acuerdo respecto a la relevancia del vínculo señalado a modo de ejemplo anteriormente, la valoración del mismo o la estimación de los beneficios de la existencia de una cobertura vegetal cualquiera, son aspectos difíciles de cuantificar, complejizando a su vez la gestión activa del servicio que esta presta a la sociedad. No obstante, la regulación sobre la tala de la vegetación en las riberas de los ríos representa un reconocimiento de la función que esta posee, la estimación del beneficio asociado no es fácilmente cuantificable.

La alteración de los ecosistemas trae consecuencias no solo en la disponibilidad y calidad del agua disponible, sino también sobre la intensidad de las crecidas, las cuales muchas veces tienen costos humanos y económicos. En este sentido, cabe señalar que actualmente se está comenzando a hablar de la vegetación como una "infraestructura natural" o "infraestructura verde", la cual puede reemplazar o complementar la instalación de otras infraestructuras artificiales para estos fines (SCBD, 2013).

Las áreas protegidas del país ciertamente prestan importantes servicios ecosistémicos, incluido el abastecimiento del agua, aunque éstas no hayan sido planificadas para aquello. Actualmente coincide que la gran mayoría de las áreas protegidas se encuentran en la cordillera de Los Andes, de modo que protegen los ecosistemas de las cabeceras de muchas cuencas del país.

El establecimiento de un sitio Ramsar, generalmente declarados sobre la base del valor de su biodiversidad y su dependencia respecto al agua, conlleva mayores exigencias ambientales al momento de la exploración y solicitud de DAA. Regulaciones que le confieren mayor protección y permiten mantener sus funciones ambientales.

Por otro lado, entre las regulaciones establecidas en el Código de Aguas, en reconocimiento de la función clave que juega el agua para las vegas y los bofedales altoandinos del norte del país, y las funciones que a su vez estos prestan a la producción agropecuaria y los medios de vida de las comunidades andinas, es que los acuíferos que los alimentan se encuentran actualmente protegidos por ley.

La declaración de aguas de reserva por decreto presidencial, si bien no protege la función ecosistémica que provee dicha agua, es una medida que permite resguardar el goce del servicio



recreativo en algunos casos, como es el del río Baker. En este caso, directamente relacionado con la seguridad hídrica de usos productivos o recreativos no extractivos como el turismo y/o la navegación, por ejemplo. Este mecanismo de resguardo de las aguas tiene otras aplicaciones como, por ejemplo, conservar un caudal mínimo que permita la regulación de desechos por procesos naturales, lo cual es ciertamente de interés público. No obstante, en la práctica, no se ha implementado de esa forma y los caudales de dilución dependen mucho más de los derechos de agua otorgados y del caudal ecológico de los cuerpos de agua.

Adicionalmente, y en esta misma línea, el Plan de Adaptación de Cambio Climático en Biodiversidad, publicado el año 2014, expone una serie líneas de acción y fichas que responden a 4 objetivos específicos, los cuales permiten mantener los beneficios ecosistémicos y de alguna u otra forma contribuir al logro de las metas de Seguridad Hídrica. Dentro de las acciones definidas en el plan se encuentra: i) Identificar indicadores de humedales que permitan exponer la salud ambiental de los ecosistemas acuáticos continentales, ii) Desarrollar una iniciativa para la mantención de la provisión de servicios ecosistémicos de San Pedro de Atacama, en un contexto de adaptación basada en ecosistemas, iii) Programa de restauración ecológica de ecosistemas degradados en áreas protegidas y otros espacios naturales, iv) Conservación de humedales de turberas como mecanismo de adaptación al cambio climático y mantención de recursos hídricos, v) Adaptación al cambio climático en humedales andinos, vi) Normas secundarias de calidad ambiental integral para aguas subterráneas, y vii) Disponer de un mecanismo para el establecimiento de caudales ecológicos en ríos y esteros de Chile. Todas estas acciones se enfocan en la mantención y monitoreo de la biodiversidad y ambientes acuáticos, enfocado en la provisión de los servicios ecosistémicos, componente relevante para la satisfacción de las metas de la Seguridad Hídrica.

#### IV.2.D. Escenarios de desarrollo

Como se señaló anteriormente, producto de la regulación actual, la gestión del agua está fuertemente influida por los escenarios de desarrollo del país. La actividad económica productiva es uno de los principales demandantes de agua, de modo que la situación económica del país influye directamente sobre el consumo actual del agua y sobre las expectativas del consumo futuro.

Chile es una economía emergente que aspira a convertirse en un país desarrollado. Su actividad económica depende principalmente de la exportación de recursos naturales, los cuales involucran grandes volúmenes de agua en su producción. La producción silvoagropecuaria es el principal usuario del agua en el país (82%), seguido por el agua potable (8%), la industria (7%) y la minería (3%) (DGA 2016).

Respecto a la demanda de agua potable, y a diferencia del resto del sector productivo, ésta se encuentra fuertemente influida por el crecimiento poblacional, el cual si bien es positivo, ha ido bajando durante los últimos años alcanzando un valor del 0,85% anual aproximadamente. Además, durante los últimos años se han observado una disminución en las tasas unitarias de consumo, lo que tiene un efecto compensatorio sobre el crecimiento de la población.

La Superintendencia de Servicios Sanitarios junto a las empresas sanitarias, que proveen de agua al 87% de la población nacional, realizan proyecciones de la demanda de agua potable a futuro, de modo que sus planes de crecimiento contemplan dicho factor. Las falencias que se han observado en



este sentido, guardan relación con cambios en la disponibilidad de agua en las fuentes producto de eventos de sequía, y no con cambios en la demanda de agua de la población.

Por otro lado, las proyecciones de crecimiento son altamente favorables para el sector silvoagropecuario, no así para la minería y la industria, de modo que es probable el aumento en la demanda de agua a corto plazo esté liderada por un incremento en la superficie de riego, principalmente para la producción de productos de exportación. En este sentido, la política de tecnificación del riego ha permitido disminuir el consumo de agua por parte de los agricultores, sin embargo también ha provocado problemas colaterales como la disminución de los flujos de retorno y de la recarga de los acuíferos (Fuster *et al*, 2009), lo cual afecta directamente a otros usuarios aguas abajo.

Si bien se espera un aumento en la demanda de agua por parte de la minería, los esfuerzos realizados en la desalinización de agua de mar podrían disminuir la presión hídrica sobre las aguas superficiales y subterráneas (COCHILCO, 2013).

La inversión en energía ha ido creciendo durante los últimos años producto de las necesidades proyectadas para el país. Esto, junto a una política enfocada en incrementar los aportes de las energías renovables, particularmente la hidroeléctrica, ha provocado un aumento de la demanda de agua en derechos no consuntivos.

Si bien los derechos no consuntivos vuelven a la fuente, no lo hacen en el mismo punto desde donde son extraídos, de modo que no están libres de impactos respecto a la disponibilidad de agua para otros usos en el área de influencia del proyecto, lo cual ha provocado conflictos sociales entre los proyectos y la comunidad.

#### **IV.2.E. Escenarios de clima**

Los efectos de los escenarios climáticos sobre la seguridad hídrica en Chile se describen detalladamente a continuación en la sección V.



## V. CAMBIO CLIMÁTICO Y SEGURIDAD HÍDRICA

### V.1. Metodología

En esta sección se describe el impacto del cambio climático en la disponibilidad de los recursos hídricos y por ende en la Seguridad Hídrica Nacional. Para esto se realizó una exhaustiva búsqueda de documentos e iniciativas que abordaron dentro de sus objetivos los efectos del cambio climático a nivel global y nacional, en los recursos hídricos, con énfasis en los modelos regionales que presentan una mayor escala y certezas respecto a las proyecciones en Chile. Al respecto, se recopilaron 58 estudios relacionados con “Cambio Climático” y 47 focalizados en “Seguridad Hídrica y Cambio Climático”, los cuales se exponen en la base de datos adjunta (Anexo 1). En la presente sección se exponen brevemente los efectos del cambio climático en Chile considerando principalmente los estudios de Rojas (2012); Santibáñez, (2016), el informe correspondiente a la 3ª Comunicación Nacional de Chile ante la CMNUCC publicada por el Ministerio del Medio Ambiente en 2016 y el Informe País sobre el estado del medio ambiente en Chile (Universidad de Chile-INAP-CAPP, 2016).

Tomando en cuenta la gran variabilidad climática y geográfica de Chile, la descripción de los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos y la Seguridad Hídrica actual (ver Sección V) se realizó por macrozonas, el resto de los análisis consideró el nivel nacional en cuanto son aspectos transversales a todas las zonas consideradas. La división por macrozonas de Chile utilizada en el presente estudio (Figura 3) corresponde a aquella propuesta por DGA en su Atlas del Agua (DGA, 2016).



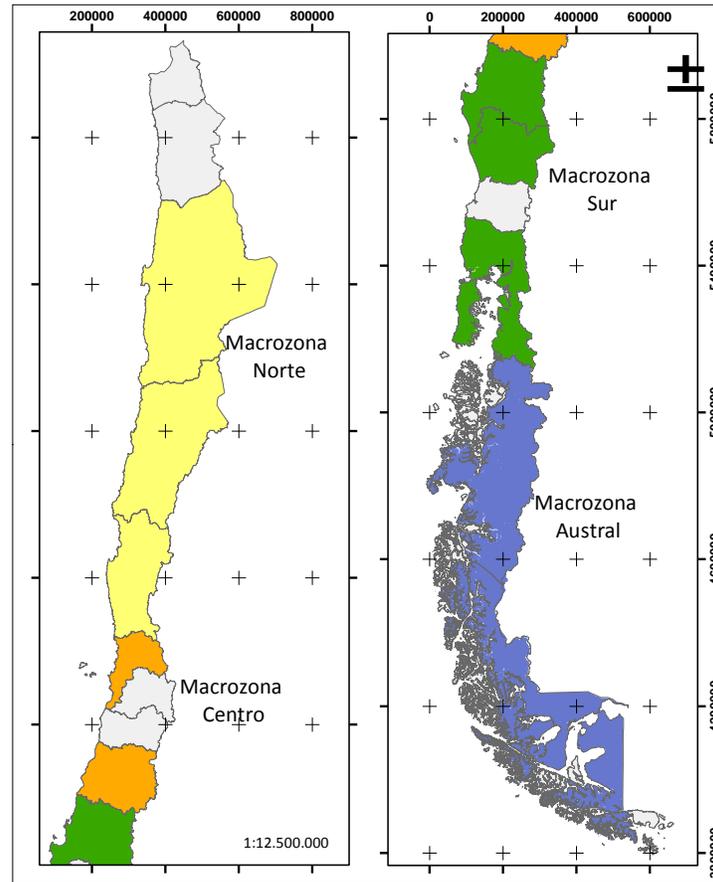


Figura 3. Macrozonas consideradas en el presente estudio para describir la situación actual de la Seguridad Hídrica y del cambio climático sobre los recursos hídricos. Fuente: Elaboración propia en base a DGA, (2016)

## V.2. Resultados

### V.2.A. Principales cambios observados en el sistema hídrico en Chile.

El Informe País relativo al estado del medio ambiente en Chile (Universidad de Chile-INAP-CAPP, 2016) describe una disminución de las tasas anuales de precipitación media en gran parte del país para periodo 2006-2015 en relación al valor observado para el periodo 1990-1999. En particular, para el periodo 2010-2015 la zona de Chile Central experimentó un déficit de precipitaciones que alcanzó el 21% (Boiser et al. 2016) lo que trajo como consecuencia una marcada disminución de la oferta de agua la que se manifestó en la disminución de caudales y niveles de almacenamiento de embalses (Center for Climate and Resilience Research, 2015). Este evento extremo denominado "megasequía" ha sido atribuido, en parte (un cuarto del déficit de precipitaciones), al cambio climático de origen antropocéntrico (Boiser et al. 2016).

Otros de los componentes del sistema hídrico que han sufrido importantes cambios debido al cambio climático son los glaciares. En general, las observaciones muestran que gran parte de los



glaciares catastrados en Chile continental han experimentado fuertes retrocesos y pérdidas volumétricas en las últimas décadas lo que ha impactado directamente en la dinámica de los cuerpos de agua como ríos y lagos (Universidad de Chile-INAP-CAPP, 2016). Por ejemplo, en la zona central se han descrito aumentos en los caudales en la época de derretimiento en cuencas que han experimentado una fuerte disminución de la cobertura de hielo (Pizarro et al. 2013). Por otro lado el retroceso de glaciares en la zona austral del país ha estado acompañado por repentinos vaciamientos de lagos subglaciales lo cuales han generado repentinos aumentos de caudal (DGA, 2012). No es menos importante señalar que en la región Patagónica se ha estimado que entre los años 2003 y 2011 los glaciares han perdido hielo a una tasa de 29 ( $\pm 10$ ) Gt por año, cifra que solo es superada por Alaska y otras regiones del Ártico (Gardner et al. 2013 citados por Universidad de Chile-INAP-CAPP, 2016).

Pese a que gran parte de los cambios descritos anteriormente han sido atribuidos al cambio climático, los complejos patrones de variabilidad espacial y temporal de las variables climáticas junto a la escasa cantidad de información proveniente de observaciones se traduce en que actualmente no sea posible identificar de manera categórica que proporción de los cambios observados son atribuidos al cambio climático de origen antrópico y cual es atribuida a la variabilidad climática natural (Universidad de Chile-INAP-CAPP, 2016).

#### V.2.B. Principales proyecciones de cambio climático en Chile.

A nivel internacional los efectos del aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero sobre el sistema climático son proyectados a través de modelos globales, sin embargo la geografía de Chile obliga a los distintos centros de investigación a evaluar estos efectos a través de modelos regionales, que aumentan la resolución de las simulaciones mejorando su capacidad de predicción (Rojas, 2012). Al respecto, los principales estudios que abordan las proyecciones de cambio climático en el país corresponden a las simulaciones y análisis realizados por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC, 2016), Santibáñez et al. (2016), Rojas (2012), CEPAL (2012 y 2015) e IPCC (2013).

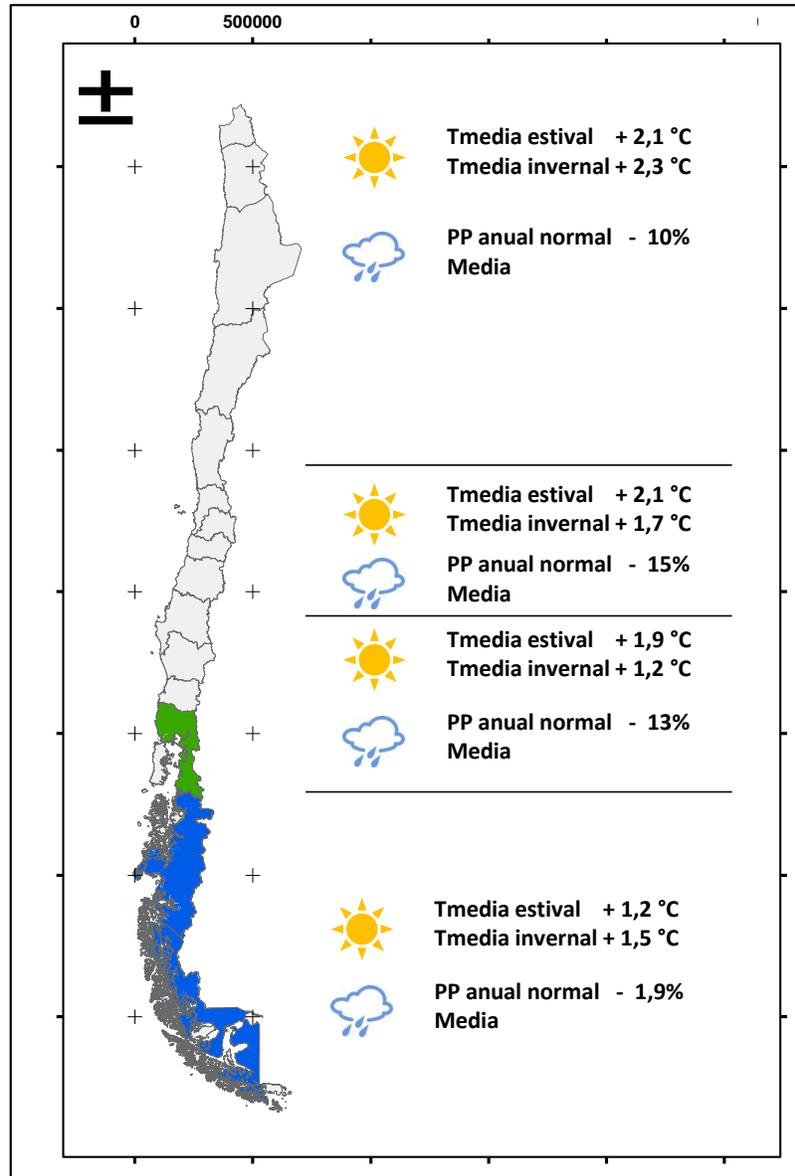
En general, todas las proyecciones realizadas en nuestro país exponen un alza en las temperaturas y una disminución en las precipitaciones, efectos que condicionan directamente la disponibilidad del recurso hídrico. Al respecto, Rojas (2012) utilizando un conjunto de modelos desde el *Coupled Model Intercomparison Project* (CMIP3 y CMIP5) y para escenarios extremos de emisión de gases de efecto invernadero RCP 2,6, RCP 8,5 y SRESA1B, proyectó un aumento en las temperaturas en todo el territorio nacional para el periodo 2031-2050 con respecto al periodo 1961-1990, con un gradiente de mayor a menor de norte a sur y de cordillera a océano. Al respecto y en general, los valores simulados van desde 0.5°C (Magallanes) a 2.5°C (Altiplano) para el periodo analizado. Respecto a los cambios esperados en las tasas de precipitación anual, las tendencias proyectadas por el mismo autor indican una disminución de éstas en la zona centro-sur de entre 10-15% para el periodo 2031-2050, situación que es modelada consistentemente por la mayoría de los modelos aplicados. En el caso del norte de Chile se proyectó una tendencia a la disminución de la precipitación, sin embargo se señala que esta no es robusta entre los diferentes modelos (divergencia inter-modelos). Finalmente, las proyecciones simuladas para Patagonia y Magallanes muestran de manera consistente una disminución y un aumento, ambos del 5%, en las precipitaciones respectivamente.



Recientemente Santibáñez et al. (2016) desarrolló un estudio cuyo objetivo fue realizar una proyección climática a escala comunal al año 2050, en base a un ensamble de 17 modelos de circulación general de la atmósfera (CGM), considerados en el Informe del IPCC (2013). El escenario modelado se generó siguiendo la trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero 8,5 (por sus siglas en inglés RCP 8,5), es decir, considerando que la atmósfera terrestre absorberá y convertirá en calor 8,5 watts/m<sup>2</sup> en promedio. Este escenario de emisión de gases se consideró el más probable entre los cuatro propuestos por IPCC (2013). La modelación consideró las geoformas del territorio, obteniéndose proyecciones a para la geoformas litoral, serranías, valle central, serranías y valles interiores, precordillera y cordillera.

La Figura 4 muestra las proyecciones climáticas agregadas por macrozona por el presente equipo de la Universidad de Chile. Al respecto, es de importancia señalar que la información base utilizada para describir cada macrozona esta originalmente generada a nivel de comuna por lo que la información mostrada en la Figura 1Figura 4 es de carácter referencial y debe ser utilizada con precaución. Por ejemplo, las comunas de la región de Magallanes presentan aumentos de precipitaciones los cuales no son visibles en la macrozona Austral, en donde la región de Aysén presenta disminución de precipitaciones (-5,7%) y la región de Magallanes un leve aumento (3%). Adicionalmente, se debe considerar que todas las comunas tienen aumentos y/o disminuciones mayores o menores que las expuestas por macrozona.



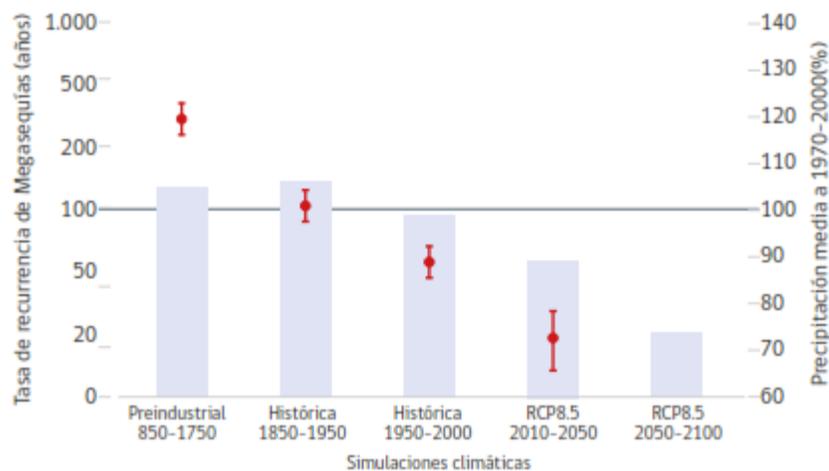


**Figura 4. Cambio proyectados en las temperaturas medias estivales e invernales y precipitación promedio anual a 2050 en relación al periodo 1980-2010 bajo escenario RCP 8.5 por macrozona basada en información base comunal. Fuente: Elaboración propia en base a Santibáñez et al (2016)**

En general las proyecciones, de diverso origen a nivel nacional, presentan similitudes, exponiendo claramente la tendencia que cada una de las macrozonas presentará en los próximos años, con mayor o menor robustecimiento (Rojas, 2012). Sin embargo, se exponen problemas de estimación frente algunas condiciones topográficas y aspectos poco estudiados de relevancia en las proyecciones, existiendo sobrestimación de la precipitación en las zonas cordilleranas en los modelos regionales, subestimación de precipitaciones en modelos globales y ausencia de la representación de la variabilidad interanual e inter-decanal (Rojas, 2012).



Respecto a la variabilidad climática y eventos extremos, hay una amplia evidencia científica que indica que las principales forzantes climáticas que modulan tanto las variaciones interanuales de precipitación y la frecuencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos extremos en Chile son El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), la Oscilación Decenal del Pacífico (PDO), y la Oscilación Antártica (AAO; Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Al respecto, IPCC (2013), Garreaud et al. (2015), Boiser et al. (2016) entre otros autores han proyectado que el efecto del cambio climático sobre las forzantes antes mencionadas tendrá un impacto directo en la frecuencia e intensidad de eventos extremos tales como sequías e inundaciones. Por ejemplo, en la Figura 5 se muestra que bajo el escenario de emisión RCP 8,5 se proyecta, para el periodo 2050-2100 en relación al periodo histórico de 1950-2000, un aumento significativo en el periodo de recurrencia de eventos de sequías de tres años o más de duración en Chile Central.



**Figura 5.** Periodo de recurrencia en años de una sequía (>30% de déficit de precipitación en Chile central) de tres o más años de duración empleando siete modelos climáticos para los periodos preindustrial (850-1750) histórico (1850-1950; 1950-2000) y futuro (2010-2050;2050-2100). Fuente: Garreaud et al. (2015) con datos del Couple Model Intercomparison Project (CMIP5-WCRP).

Finalmente, y para efectos de evaluar la vulnerabilidad de los recursos hídricos al cambio climático es de importancia señalar los potenciales impactos que éste tiene sobre los principales componentes de la criósfera: glaciares, nieve y permafrost. Al respecto, cambios futuros en los niveles de temperatura y precipitación podrían alterar los patrones normales de acumulación y derretimiento de nieve, sin embargo los impactos sobre ecosistemas dependientes no han sido cuantificados hasta la fecha (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). Por otra parte, aunque la evidencia indica que la mayoría de los glaciares de Chile están experimentando un retroceso sistemático, la falta de conocimiento respecto al efecto que las variaciones en la temperatura y precipitación tienen sobre su evolución no permite proyectar dichas tendencias en un modelo de predicción (Ministerio del Medio Ambiente, 2016). De la misma manera la carencia de información respecto a la dinámica del permafrost y glaciares de roca no permiten inferir su comportamiento futuro en respuesta a un cambio en el clima.



### V.2.C. Cambio climático como condicionante clave de la Seguridad Hídrica

Tal como fue señalado en la Sección III.2.C ("Factores condicionantes de Seguridad Hídrica") el cambio climático corresponde a un factor clave que condicionará el logro de la Seguridad Hídrica en las diferentes cuencas del país. Al respecto, los cambios proyectados sobre el clima bajo los diferentes escenarios de emisión de gases de efecto invernadero se espera tengan un efecto directo tanto en la cantidad como en la temporalidad de los caudales de las diferentes cuencas del país (ej. Vargas et al. 2012; PUC-TECO, 2016; Universidad de Chile, 2016), lo cual sumado a los impactos esperados sobre los diferentes componentes de la criósfera (retroceso de glaciares; cambios en la dinámica de acumulación/derretimiento de nieve; Ministerio del Medio Ambiente, 2016) condicionarán la disponibilidad de recursos hídricos para satisfacer las necesidades humanas y de los ecosistemas.

No obstante lo anterior, es importante señalar que el análisis de la disponibilidad de recursos hídricos bajo un contexto de cambio climático deberá considerar dos aspectos: la disponibilidad física determinada por patrones climáticos y la disponibilidad legal determinada por los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA), el sistema administración y su gobernanza. La figura de DAA, si bien es un aspecto legal, contribuye a intensificar los efectos del cambio climático, debido a que el consumo potencial de agua no disminuye en base a la disponibilidad física, por ende los sistemas hídricos estarán cada vez más sobre exigidos si el panorama actual no cambia. Adicionalmente, la población aumentará generando mayor presión en las diferentes cuencas del país, al aumentar las extracciones actuales.

Debido a la existencia de potenciales interacciones entre los diferentes factores condicionantes de la Seguridad Hídrica y a la gran incertidumbre existente respecto a los diferentes escenarios de cambio global, éstos últimos en relación al estado futuro de los sistemas económicos, sociales, políticos y climáticos, la afectación de la Seguridad Hídrica, por motivo del cambio climático, no es posible determinarla con exactitud, sin embargo, y considerando sólo el factor de "escenarios de clima", esta se verá potencialmente afectada principalmente por: i) la disminución de la disponibilidad física del recurso, ii) aumento de periodicidad de eventos extremos, y iii) aumento de situaciones de turbiedad y contaminación, producto del aumento de la periodicidad de eventos extremos, lo que afecta en la calidad del recurso.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto y en función de la literatura (CEPAL, 2012; CEPAL 2015; AGRIMED, 2008; AGRIMED, 2014; IPCC, 2014), a continuación se señala un conjunto de potenciales impactos que el cambio climático tendrá sobre los principales elementos de la Seguridad Hídrica:

1. Consecuencias en el abastecimiento de agua potable y las necesidades básicas
  - a. Aumento del número de personas en situación de estrés hídrico.
  - b. Aumento de tarifas de agua potable por aumento de gastos por inversión en infraestructura, desaladoras o infraestructura de tratamiento en caso de afectación de la calidad.



- c. La disminución de disponibilidad repercute en un aumento de tarifas y por ende en el aumento de costo de vida
  - d. La disminución de disponibilidad, impacta en el acceso de algunos sectores del país como comités o cooperativas de Agua Potable Rural de las zonas más afectadas por el cambio climático, lo cual implicará el incremento de problemas de salud, y la ampliación del rango geográfico de vectores.
2. Consecuencias en el abastecimiento de los sectores productivos y procesos productivos
- a. Sector Agrícola
    - No existirá afectación en el abastecimiento de agua para riego desde la cuenca del río Maipo al sur.
    - Restricciones de 0 a 15% de agua para riego en el periodo temprano y de 30 a 65% en el periodo tardío desde la cuenca del Río Maipo al norte
    - Los efectos dependen de la región, cultivo y el tipo de especie en cuestión. En sectores donde la limitante actual son las bajas temperaturas, aumentará la productividad. En cambio, en aquellos sectores donde la limitante actual es la disponibilidad de agua, se prevé disminuciones significativas de la productividad.
    - En agricultura, existen efectos asociados a los cambios de patrones de temperatura existiendo en algunos sectores un aumento de acumulación de días grado (base 10 °C) y una drástica disminución de horas de frío.
    - Caída de productividad de cultivos, consecuencia de la combinación de los siguientes factores: sequía con estrés por altas temperaturas, excesiva nubosidad con temperaturas bajas, y excesiva precipitación a la madurez con elevadas temperaturas.
    - El impacto dependerá, además de cultivos y ubicación, de la infraestructura de almacenamiento y de la capacidad de organización de usuarios en la cuenca.
    - El crecimiento de la demanda interna y externa de productos agrícolas, obligan al sector a mejorar la eficiencia, ampliación de obras de regulación y almacenamiento, y de un uso más intenso de las actuales fuentes, está última opción incompatible con el resto de los sectores productivos.
    - Los sectores con mayor vulnerabilidad, desde el punto de vista social y productivo, en términos agrícolas, son aquellos donde domina la pequeña propiedad, baja tecnificación del sistema productivo y cultivos de secano.
    - Afectación de la seguridad alimentaria consecuencia de la disminución de disponibilidad de recurso hídrico.
  - b. Sector hidroeléctrico
    - Representa el 60% de la generación en el Sistema Interconectado Central, por lo que una baja en la disponibilidad implica mayores costos, asociado a la generación a través de fuentes más costosas y contaminantes (termoeléctrica). Esto sin considerar políticas, medidas de mitigación al cambio climático o nuevos desarrollos.
    - Disminución en la seguridad de suministro eléctrico.



- En periodo temprano, se proyecta una disminución del 11% y de un 22% en el periodo tardío, existiendo cuencas más sensibles a la variación de la disponibilidad hídrica.
- c. Sector industrial
  - Disminución de competitividad al aumentar los costos de producción debido a déficit o aumentos del costo del agua.
- d. Sector Minero
  - Las explotaciones mineras se ubican en cuencas hidrográficas con déficit hídrico, por ende la disminución de la disponibilidad, acentuará los conflictos por el agua.
  - Aumento de costos de producción por inversiones en infraestructura.
  - Instalación de desaladoras las cuales aumentarán el consumo energético de la minera, el cuál proviene del Sistema Interconectado del Norte Grande, nutrido mayormente por termoeléctricas. Esto implica aumentos en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero.
- 3. Consecuencias en la salud y medio ambiente
  - a. Pérdida de ecosistemas y biodiversidad, y de bienes, funciones y servicios de los ecosistemas.
- 4. Consecuencias en los riesgos
  - a. Aumento de riesgos para personas, economía y ecosistemas, dados por sequías, crecidas y eventos de contaminación.
  - b. Aumento de periodicidad de eventos extremos, provocando colapso de redes de infraestructura y servicios esenciales
  - c. Riesgo de inseguridad alimentaria e hídrica
  - d. Pérdida de medios de subsistencia e ingresos en sectores rurales
  - e. Riesgos urbanos asociados con sistemas energéticos

Las consecuencias en las dimensiones de la Seguridad Hídrica, exponen un escenario complejo, debido principalmente a que hoy en día ya se presentan serias complicaciones de abastecimiento y disponibilidad, aumento de conflictos por el acceso, y problemas de organización y gestión del agua. Esto demuestra el desafío actual y futuro en términos de organización, adaptación y mitigación de los efectos, y los esfuerzos en negociación que se tendrán que realizar para alcanzar un equilibrio y compensaciones que optimicen el bienestar humano en sus ámbito social, económico y ambiental.

#### V.2.D. Consideraciones finales

Tal como se señala en la 3ª Comunicación Nacional de Chile ante la CMNUCC, los impactos esperados en el sistema hídrico producto del cambio climático tienen el potencial de afectar los diferentes ámbitos de la Seguridad Hídrica ya sea condicionando la disponibilidad de agua (en cantidad y calidad) para satisfacer las necesidades humanas y de los ecosistemas o aumentando la exposición de las comunidades a eventos extremos de origen hidrometeorológicos los cuales se esperan sean más frecuentes e intensos. Bajo este contexto, las políticas o estrategias de adaptación al cambio climático enfocadas en el logro y posterior mantención de la Seguridad Hídrica en una cuenca en particular, deberán ser formuladas tomando en cuenta el grado de vulnerabilidad que cada una de las dimensiones y sub-dimensiones de Seguridad Hídrica tienen a los diferentes cambios en las variables climáticas. Al respecto, es importante señalar que el objetivo principal de



una medida o estrategia de adaptación será reducir la vulnerabilidad de cada componente de Seguridad Hídrica minimizando la exposición tanto de la comunidades y sus actividades asociadas como de los ecosistemas a los riesgos asociados a la disminución de la disponibilidad de agua (en cantidad y calidad) y a los eventos extremos relacionados con el agua.



## VI. ANÁLISIS DE INICIATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES Y SU CONTRIBUCIÓN A LA SEGURIDAD HÍDRICA

Se realizó una recopilación de antecedentes, estudios e informes relativos al marco institucional nacional e internacional de cambio climático, con énfasis en aquellas iniciativas que abordarán de manera directa o indirecta los desafíos de la Seguridad Hídrica. Se obtuvieron 17 documentos de los cuales destacan las iniciativas nacionales de Cambio Climático y Gestión del Recurso Hídrico.

Los desafíos de la Seguridad Hídrica (Peña, 2016) se pueden reconocer en las cuatro dimensiones de ésta expuestas en la sección III Cuadro 4. Estas áreas corresponden a sectores del sistema en donde se evidencian los principales riesgos:

1. El acceso de la población a niveles adecuados de agua potable y saneamiento
2. La disponibilidad de agua para garantizar un desarrollo productivo sostenible y reducir la conflictividad asociada
3. La conservación de cuerpos de agua en un estado compatible con la protección de la salud pública y el medioambiente.
4. La reducción de los riesgos relacionados con eventos extremos, tales como sequías, excesos de agua, y contaminación<sup>10</sup>

**Cuadro 4. Desafíos de la Seguridad Hídrica nacional**

Área prioritaria	Desafíos
Acceso de la población a niveles adecuados de los servicios de agua potable y saneamiento	Superar los déficits existentes en los servicios de agua potable y saneamiento Asegurar la disponibilidad de recursos hídricos en las fuentes Controlar el deterioro de la calidad del agua en las fuentes
Disponibilidad de agua para garantizar un desarrollo productivo sustentable	Ajustar la extensión de las zonas de riego a la disponibilidad hídrica Evaluar en forma integral el impacto de los desarrollos tecnológicos y los cambios de uso, sobre los recursos hídricos Controlar la sobreexplotación de los acuíferos Regular la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas Controlar los procesos de salinización asociados al desarrollo del riego Incorporar a la toma de decisiones la incertidumbre asociada a la variabilidad y al cambio del clima Regular el cambio de las condiciones de escorrentía y drenaje en las cuenca Reducir el impacto de las sequías y del cambio climático
Conservación de cuerpos de agua en un estado compatible con la salud y el medioambiente	Completar el tratamiento de las aguas servidas domiciliarias Regular la contaminación por nitratos Controlar la contaminación industrial y minera Controlar los procesos de salinización asociados al desarrollo del regadío Conservar los ecosistemas y la biodiversidad
Reducción de los riesgos relacionados	Adecuar los sistemas de drenaje al desarrollo de las ciudades

<sup>10</sup> Esta área fue modificada debido a que Peña (2016) sólo expone los riesgos de los excesos de agua.



Área prioritaria	Desafíos
con el exceso de agua y sequía	Desarrollar instrumentos efectivos de Ordenamiento Territorial y de manejo de cuencas Atender a los nuevos desafíos que plantea el cambio climático Mejorar los sistemas de monitoreo y alerta temprana

Fuente: Elaboración propia en base a Peña, 2016.

Los desafíos expuestos requieren de una institucionalidad y gobernanza adecuada a la contingencia y a las exigencias futuras, además requiere de gestionar reconociendo los riesgos y la incertidumbre presentes en el sistema hidrológico producto del cambio climático, y a los cambios sociales económicos y políticos (Peña, 2016).

## VI.1. Iniciativas Nacionales

La Seguridad Hídrica corresponde a un aspecto transversal el cuál es abordado en diversas iniciativas. Uno de los componentes relevantes de este concepto es la disponibilidad del agua en cantidad y calidad para los diferentes usos, constituyendo uno de sus desafíos. Este componente es abordado en nuestro país a través de variadas iniciativas, y aspectos institucionales. Entre ellas, las iniciativas relativas al cambio climático correspondientes a instrumentos que permiten avanzar hacia la Seguridad Hídrica. A continuación se expone brevemente las iniciativas más relevantes y su relación con los desafíos expuestos.

### VI.1.A. Cambio Climático

Chile en 1995 promulga la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y en 2002 ratifica del Protocolo de Kioto ratificando su compromiso ante la comunidad internacional a hacer frente al cambio climático. El Protocolo de Kioto es legalmente vinculante y establece la reducción en las emisiones de los diferentes países y la periodicidad en la cual deben ser cumplidos (Moraga y Araya, 2015).

Dentro de los compromisos adquiridos por Chile, está la elaboración de los inventarios de gases efecto invernadero, elaboración y entrega de Informes Bienales de Actualización (IBA), e informar a través de las comunicaciones nacionales el estado en cuánto a emisiones, y políticas y medidas de adaptación, mitigación y generación de capacidades. Sumado a lo anterior, en 2010, se ratifica el compromiso voluntario de nuestro país de reducir en un 20% las emisiones al año 2020, compromiso complementado en el Acuerdo de París, aprobado en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (COP21), en donde Chile se compromete a reducir en un 30% las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de PIB al 2030 (en relación a nivel alcanzado en 2007) y a realizar un manejo sustentable y recuperar 100 mil hectáreas de bosque, principalmente nativo. También se compromete a generar acciones tempranas de mitigación, entre las principales acciones está el Programa de Eficiencia Energético y la Ley 20.257 de fomento a las Energías Renovables No Convencionales (MMA, 2016).

En cuanto a la adaptación, Chile se compromete a implementar medidas que permitan aumentar la resiliencia, generar de planes sectoriales de adaptación, crear sinergias con las medidas de



mitigación, fortalecer el marco institucional y generar un sistema de medición de los planes (MMA, 2016).

En nuestro país, la CONAMA, en su periodo de vigencia, y actualmente el Ministerio de Medio Ambiente, lideran el proceso y la coordinación de las acciones nacionales. En esta línea, se generan instancias de dialogo, estrategias, planes y programas, y se ratifican convenios internacionales relacionados con el cambio climático, entre ellas el Consejo de Ministros para la sustentabilidad, Comité Asesor sobre Cambio Climático, Equipo Técnico Interministerial en Cambio climático, el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación y la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales. Adicionalmente, se comienzan a generar una serie de iniciativas que permiten al país cumplir el compromiso de reducción de gases de efecto invernadero, tales como los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), permitiendo al país vender las reducciones a países desarrollados.

Las iniciativas desarrolladas en nuestro país para cumplir los compromisos internacionales y los desafíos nacionales del Cambio Climático permiten el logro de la Seguridad Hídrica, a través de los estudios de vulnerabilidad, la generación de información, medidas de adaptación y la generación de capacidades. Adicionalmente, todas las iniciativas de cambio climático contribuyen al desafío “Atender los nuevos desafíos del cambio climático” contenido en el área prioritaria de los riesgos.

#### ***i) Ley de Bases Generales de Medio Ambiente***

En este instrumento se establece que el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) debe “proponer políticas y formular los planes, programas y planes de acción en materia de cambio climático”. Esta declaración expone la labor del Departamento de Cambio Climático de avanzar en los impactos del cambio climático, entre los que se cuenta el recurso hídrico. En esta línea es que el Ministerio ha trabajado en el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático y los planes de adaptación asociados.

#### ***ii) Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS)***

Esta instancia se crea, a través de la Ley 20.417 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (2010), el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad (CMS) cuyo objetivo es proponer al Presidente de la República políticas para el manejo uso y aprovechamiento sustentables de los recursos naturales renovables, criterios de sustentabilidad a incorporar en políticas y procesos de planificación de los ministerios, Áreas Protegidas del Estado y políticas sectoriales, además de pronunciarse sobre los criterios y mecanismos en virtud de los cuales se deberá efectuar la participación ciudadana en las Declaraciones de Impacto Ambiental, y sobre los proyectos de ley y actos administrativos que se propongan al Presidente de la República.

#### ***iii) Estrategia Nacional de Cambio Climático***

La estrategia se aprobó el año 2006, cuyo objetivo es orientar las acciones del Estado y del sector privado en materias de cambio climático. Esta se estructura en 3 ejes, adaptación, mitigación y creación y reforzamiento de capacidades, y sienta las bases para los próximos instrumentos.

#### ***iv) Plan de Acción Nacional de Cambio Climático***

El primer Plan de acción fue elaborado para el período 2008 – 2012. El plan incluye un lineamiento correspondiente a la determinación de impactos y adaptación, dentro del cual se aborda el recurso hídrico. En este se expone que los impactos sobre los recursos hídricos son consecuencia tanto de



las modificaciones del ciclo hidrológico, como de su manejo y gestión, sin embargo las acciones se acotan a generación de información, modelaciones y la creación de centros de investigación, acciones que contribuyen a aumentar el conocimiento del sistema con lo cual se mejora la toma de decisiones y se pueden abordar los desafíos expuestos (CONAMA, 2008).

El Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017 – 2022, es el “instrumento de política pública que integra y orienta las acciones referidas a cambio climático”. Este presenta como objetivo “hacer frente a los desafíos que plantean en el corto y mediano plazo los impactos del cambio climático en el territorio nacional, y promover la implementación de los compromisos adoptados por Chile”. Dentro de los objetivos de adaptación se encuentra el fortalecimiento de la gestión del riesgo de desastres frente a los impactos del cambio climático, aspecto relevado como desafío de la Seguridad Hídrica. Sumado a lo anterior, dentro de la línea de la adaptación se encuentra la elaboración e implementación de planes sectoriales de adaptación, siendo uno de ellos el Plan de Adaptación al Cambio Climático de los Recursos Hídricos, ha elaborarse el año 2017, teniendo que ser aprobado el 2018.

#### *v) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático corresponde al “instrumento articulador de la política pública chilena de adaptación al cambio climático”. Su misión es “Fortalecer la capacidad de Chile para adaptarse al cambio climático, profundizando los conocimientos de sus impactos y de la vulnerabilidad del país, y generando acciones planificadas que permitan minimizar los efectos negativos y aprovechar los efectos positivos, para el desarrollo económico y social y asegurar su sustentabilidad”. Dentro de las líneas de acción definidas se encuentra la elaboración de planes sectoriales de adaptación al cambio climático, siendo uno de ellos el recurso hídrico.

El Plan de Adaptación al Cambio Climático para los Recursos Hídricos será desarrollado durante el año 2017, sin embargo, dentro del Plan Nacional de Adaptación se identifican ejes prioritarios en su desarrollo (MMA, 2014):

- La gestión sustentable que permita una adecuada protección de la cantidad y calidad de las aguas, este punto tiene estrecha relación con los desafíos expuestos en el Cuadro 4.
- Mejorar la institucionalidad, en cuanto a planificación, asignación, fiscalización y resolución de conflictos. Este punto tiene relación con la gobernanza y la gestión del recurso, ambos aspectos condicionantes de la Seguridad Hídrica, los cuales contribuyen a la superación de los desafíos.
- Prevenir y enfrentar la escasez, considerando para esto un mejor manejo del recurso y la incorporación de tecnología e infraestructura. Este punto permite abordar los desafíos relativos a desarrollo productivo y económico del país, en específico la reducción de los impactos de la sequía.
- Fortalecer y ampliar los sistemas de monitoreo, permitiendo aumentar la información existente de disponibilidad y recarga de las fuentes. El ampliar la red de monitoreo permite ajustar los modelos de simulación en sectores cordilleranos, sectores son problemas de estimación en los actuales modelos.
- Mantener y fortalecer el inventario, monitoreo y estudio de los glaciares.



- Potenciar el desarrollo de una Ley de Glaciares, que permita la conservación de estos cuerpos, considerando los efectos del cambio climático.
- Mejorar la satisfacción de la demanda de agua potable en las zonas de menor cobertura, como lo son las comunidades rurales semiconcentradas. Este punto aporta al desafío de abastecimiento de agua potable a la población en niveles adecuados.
- Reutilización del recurso, esta acción permite mejorar la eficiencia y la disponibilidad del agua para otros usos, contribuyendo a la Seguridad Hídrica de los sectores productivos.
- Educación de la población, enfocado en conservación del agua y uso eficiente del recurso.

Adicionalmente, es posible identificar en el resto de los planes sectoriales ejes prioritarios que permiten abordar los desafíos de la Seguridad Hídrica. Por ejemplo, dentro del plan sectorial Ciudades se incluye la generación de mapas de vulnerabilidad frente a eventos extremos y planes de contingencia y capacidad de respuesta de los servicios frente a estos, aspecto que permite abordar el área prioritaria de riesgos.

#### VI.1.B. Gestión del Recurso Hídrico

##### *j) Estrategia Nacional de Recurso Hídrico*

La Estrategia Nacional de Recurso Hídrico (2012 – 2025) presenta dentro de sus ejes estratégicos encontramos la Gestión eficiente y sustentable, la cual corresponde a un punto relevante para la superación de los desafíos de la Seguridad Hídrica, siendo esta el medio para alcanzar las metas y el proceso para lograr las compensaciones adecuadas, esto en el contexto nacional marcado por la figura del DAA, las extracciones ilegales y el sobre otorgamiento. En este sentido la estrategia realza la labor de la OUA, las cuales serían parte importante de la gobernanza que lideraría esta gestión. Dentro de las acciones de este eje se expone la protección de la calidad y cantidad de los recursos hídricos, esencial para el logro de las metas de Seguridad Hídrica (MOP, 2013).

El segundo eje corresponde a una “Mejor institucionalidad”, presentando acciones como la creación de una nueva institucionalidad y mejorar la información disponible, ambas acciones permiten avanzar a una mejor gestión y toma de decisiones, lo cual podría influir en la disminución de la competencia de usos y un aumento de los acuerdos y compromisos intersectoriales.

El tercer eje estratégico aborda la escasez, para lo cual se incentivaré la construcción de infraestructura de almacenamiento, la infiltración artificial de acuíferos, la desalación y la incorporación de fuentes no convencionales, tales como el trasvasije de agua desde cuenca con mayor disponibilidad a cuencas con déficits. Este eje aborda los desafíos relativos con la disponibilidad de agua en cantidad para los diferentes usos.

El cuarto eje estratégico aborda la equidad social, en cuanto al acceso de agua potable. Alrededor de 195.000 personas habitan en comunidades rurales semiconcentradas, las cuales se encuentran desprovistas de agua potable. Este eje aborda la equidad en el acceso y el abastecimiento adecuado de toda la población, desafío de la Seguridad Hídrica.

El último eje tiene relación con la educación y entrega de información a la ciudadanía. Este eje es transversal a los desafíos de Seguridad Hídrica debido a que permite avanzar en la conservación de las aguas y un uso eficiente.



Si bien, la estrategia es un instrumento que no aborda explícitamente la Seguridad Hídrica, sus ejes estratégicos son compatibles con las medidas que deben ser tomadas para disminuir las brechas existentes a nivel nacional de Seguridad Hídrica.

### *ii) Política Nacional para los Recursos Hídricos*

La Política Nacional, al igual que la Estrategia antes mencionada, permite avanzar en la superación de los desafíos de la Seguridad Hídrica, a través de su objetivo y lineamientos. El objetivo de esta política es “garantizar a las generaciones actuales y futuras, la disponibilidad y acceso del agua en estándares de calidad y cantidad adecuados mediante el uso racional y sustentable de los recursos hídricos, privilegiando en primer lugar el consumo humano”, concordante con la definición de Seguridad Hídrica, pero relevando el consumo humano como prioritario, en línea con las modificaciones en tramitación del Código de Aguas.

Los objetivos específicos tienen relación con la implementación de programas y acciones para la mitigación de sequías y eventos futuros, y la generación de propuestas de reordenamiento institucional y modificaciones de ordenamiento jurídico que permita gestionar de mejor manera los instrumentos y recursos. El primero de ellos presenta una estrecha relación con la dimensión 4 de la Seguridad Hídrica que apunta a la disminución de los niveles de riesgos.

En cuanto a los lineamientos destacan:

- Mejorar la gestión de la información sobre los Recursos Hídricos, permite disminuir las brechas informativas para la evaluación de la Seguridad Hídrica.
- Mejoramiento de información pública y privada, al igual que le punto anterior permite disminuir brechas informativas.
- Creación de una nueva cultura en uso eficiente de los recursos hídricos, la eficiencia contribuye en la disminución del uso del agua y el aumento de la productividad del agua.
- Reorientar los instrumentos públicos y recursos para enfrentar los desequilibrios hídricos, el equiparar el acceso permite avanzar en la Seguridad Hídrica de distintos territorios.
- Aumento de la oferta y disponibilidad de los recursos hídricos, este punto permite avanzar en acceso y cantidad de los distintos sectores, además de abordar los desafíos del cambio climático.
- Impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar disponibilidad y ahorro de los recursos hídricos, este punto permite aumentar la disponibilidad del agua para el consumo humano, medio ambiente y sectores productivos.
- En cuanto al marco regulatorio, se cuentan las modificaciones al código de aguas, y el proyecto de ley que regula los servicios sanitarios rurales.
- Potenciar la capacitación de las organizaciones de agua en el ámbito técnico, administrativo, comunitario y legal, lineamiento que apunta al fortalecimiento de la participación y de la gobernanza, factor condicionante clave en la gestión y la Seguridad Hídrica.

### *iii) Iniciativas reforma al Código de aguas*

Una tercera iniciativa que permite alcanzar o avanzar hacia la Seguridad hídrica es la Reforma al Código de Aguas (CA), la cual fue aprobada el pasado 22 de noviembre en la cámara de Diputados. Esta reforma contiene varias modificaciones que facilitarán en alguna medida la gestión de usos y el logro de la Seguridad Hídrica en todas sus dimensiones.



En primer lugar se prioriza el acceso al agua potable y al saneamiento, si bien este es sólo uno de los objetivos de la Seguridad Hídrica, prioriza y garantiza el derecho humano al acceso de agua potable, aspecto relevado por los profesionales de los servicios públicos entrevistados. Actualmente, el CA no asegura agua para estos fines teniendo que competir con el resto de usos, como consecuencia de esto el servicio de agua potable se encuentra en desventaja o en un nivel mayor de inseguridad respecto al resto de los usos.

Adicionalmente, el Estado podrá limitar el ejercicio de los DAA en función del interés público, pudiendo reducir temporalmente el DAA y redistribuir su uso para reducir daños, entendiendo como interés público todas las acciones que apuntan a resguardar el consumo humano y saneamiento, la preservación ecosistémica, la disponibilidad de las aguas, la sustentabilidad acuífera y las actividades productivas. No obstante, en caso de limitación de DAA, prevalecerá el consumo humano, uso doméstico de subsistencia y el saneamiento.

En cuanto a la dimensión abocada a los cuerpos de agua en calidad y cantidad para garantizar la salud humana, el medio ambiente y los diferentes usos, el código incluye la prohibición de constituir DAA en glaciares y en Parque Nacionales y regiones catalogadas como vírgenes.

Otra modificación relevante corresponde al carácter perpetuo de las aguas, el cual se reemplazará por la figura de concesión administrativa, por un tiempo determinado con posibilidad de renovación. Esta modificación aplica sólo para nuevos DAA. También se definen las causales de caducidad por no uso y los plazos para cada una de ellas.

En definitiva, las modificaciones propuestas contribuyen a la Seguridad Hídrica, otorgándole atribuciones a la autoridad para limitar los consumos resguardando en el interés público. Esta posibilidad podría mejorar la eficiencia en el uso, la equidad en el acceso y la prioridad de los usos, pudiendo asegurar el agua para las funciones relevadas.

En la actualidad, y en el marco legislativo vigente, la gestión recae principalmente en los privados, careciendo de una mirada de gestión de cuenca. Las modificaciones propuestas pueden contribuir a esta gestión a la consecución de los diferentes objetivos de Seguridad Hídrica plantados a nivel país o de cuenca.

#### *iv) Planes Pilotos de gestión de aguas a nivel de cuencas*

Por último, se destacan como iniciativas que contribuyen a sobrellevar los desafíos de Seguridad Hídrica, a los planes pilotos de gestión de agua a nivel de cuenca. Estas iniciativas buscan que la gestión se realice a nivel de cuenca, en donde todos los actores participen. Desde el punto de vista de la Seguridad Hídrica, los planes de gestión de cuenca corresponden al medio por el cual se puede lograr o avanzar hacia esta Seguridad Hídrica. En general los objetivos de estos planes son concordantes con los objetivos de Seguridad Hídrica, debido a que buscan garantizar el agua en calidad y cantidad, asegurar el acceso, la conservación y recuperación de ecosistemas, fortalecer a la gobernanza, entre otros.

Es relevante mencionar que los planes pilotos de gestión a nivel de cuenca corresponden a un medio para avanzar hacia la Seguridad Hídrica, pero no es el único, pudiendo existir otros mecanismos institucionales, administrativos y organizacionales que permitan cumplir estos objetivos.



En general, existen diversas iniciativas que permiten de manera directa o indirecta, explícita o implícita, avanzar en la satisfacción de las metas de Seguridad Hídrica y sus desafíos asociados. Entre estos instrumentos se cuentan aquellos que abordan al recurso hídrico, como lo son la Estrategia Nacional, las modificaciones del Código de Aguas, los estudios licitados que permiten mejorar la información existente y generar gobernanza y planes integrados de cuenca, que permiten mejorar la actual gestión y aumentar las posibilidades de satisfacción de las demandas de la población, de los sectores productivos y de los ecosistemas.

El generar una gobernanza adecuada a los desafíos actuales, y con voluntad para generar los compromisos y acuerdo necesarios para lograr un equilibrio que privilegie el bienestar común por sobre el individual, es una tarea compleja pero necesaria, más aún en un contexto legal hídrico como el de nuestro país. Esta gobernanza es esencial para la Seguridad Hídrica, por tanto todas las iniciativas que permitan instaurar y fortalecerla permiten obtener un mejor nivel esta.

Respecto a las iniciativas de cambio climático, como ya se expuso, las acciones que abordan los efectos del cambio climático, permiten avanzar hacia las metas de Seguridad Hídricas establecidas en cada territorio.

## **VI.2. Experiencias internacionales respecto a la aplicación del concepto de Seguridad Hídrica**

Pese a que el concepto de Seguridad Hídrica es relativamente nuevo en su formulación y análisis, diversos países ya han elaborado marcos de trabajo para ponerlo en práctica como elemento clave en sus respectivas estrategias de gestión de recursos hídricos. Al respecto y de manera general, se describen las experiencias de Australia, España, México,

California y Asia Pacífico en relación a las estrategias a aplicar o aplicadas para alcanzar la Seguridad Hídrica en sus respectivos territorios. Las razones para seleccionar dichas experiencias están principalmente relacionadas con i) la existencia de condiciones climáticas (ej. aridez) similares a las encontradas en la zona centro norte de Chile (Australia, España, México, California), ii) la existencia de una fuerte presión por recursos hídricos producto de la existencia de múltiples usos (Australia, España, México, California, Asia Pacífico); iii) la existencia de un mercado de aguas basado en derechos de propiedad similar al existente en Chile (Australia, California), iv) una condición similar de desarrollo socioeconómico (México, Asia Pacífico), y v) con la experiencia y liderazgo que países como Australia y el Estado de California tienen, a escala global, respecto de la gestión del agua y aplicación del concepto de Seguridad Hídrica.

### **VI.2.A. Australia**

Australia se caracteriza por poseer, en general, un clima con temperaturas extremas y una alta variación en las tasas de precipitación tanto en el espacio como en el tiempo, lo que tiene como consecuencia la ocurrencia de escurrimientos superficiales altamente variables, que condicionan, en conjunto con una demanda creciente por agua, la Seguridad Hídrica del país. Al respecto, y a nivel regional (ej. Cuenca Murray-Darling), el logro de la Seguridad Hídrica se ha centrado principalmente



en asegurar la seguridad de riego a través del funcionamiento de mercados que comprenden la comercialización de títulos o derechos de agua. Por otra parte, el reconocimiento del importante rol que juegan los ecosistemas en la provisión de servicios para sustentar tanto actividades económicas como sociales, ha significado que el logro de la Seguridad Hídrica en esta dimensión se esté transformando en una prioridad en la cuenca Murray-Darling.

En relación a las políticas desarrolladas por Australia para mejorar la gestión de los recursos hídricos, destaca la *National Water Initiative* (NWI), la cual ha demandado a los diferentes Estados y Territorios la elaboración de planes que tomen en cuenta tanto el uso actual como futuro del agua incluyendo, también, todos aquellos usos que no poseen títulos comercializables. A su vez estos planes deben reconocer las interconexiones existentes entre el recurso superficial y subterráneo, los derechos de agua Indígenas, y deben valorar los riesgos relacionados con la disponibilidad futura de agua y la importancia de la participación de los diferentes actores de los territorios (*National Water Commission* 2011). Dentro del contexto de la NWC, en 2007 Australia lanza el Plan Nacional de Seguridad Hídrica (actualmente *Securing Australia's Water Future* o *Water for the Future*) el cual incluye un presupuesto de AU\$12,9 billones para un periodo de 10 años para el desarrollo de proyectos que permitan aumentar la eficiencia y el ahorro en el uso del agua. La agencia gubernamental responsable de la implementación del Plan fue inicialmente el Departamento de Medioambiente, Agua, Patrimonio y las Artes ([www.environment.gov.au/water](http://www.environment.gov.au/water)), responsabilidad que fue transferida al [Departamento de Agricultura y Recursos Hídricos](#)<sup>11</sup> a partir de 2015. El Plan *Water for the Future* está construido sobre cuatro elementos fundamentales (Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts 2010)

1. Enfrentar el cambio climático
2. Uso inteligente del agua
3. Asegurar el abastecimiento de agua
4. Mantener los ríos saludables desde el punto de vista ambiental

*Water for the Future* ha sido llevado a la práctica mediante la inversión en programas estratégicos que incluyen el mejoramiento de infraestructura (ej. actualización de sistemas de riego y sistemas de distribución de agua a nivel extrapredial para mejorar la eficiencia en el uso del agua), adquisición de títulos o derechos de aguas por parte del Estado para mejorar el estado ecológico de ríos, humedales y otros cuerpos de agua, asegurar el abastecimiento de agua urbano, el fortalecimiento de los Sistema Nacional de Mercados de Agua (*National Water Market System*) y la realización de un conjunto de reformas relacionadas con el uso del agua a nivel nacional.

El año 2014, la *National Water Commission*<sup>12</sup> publica la última evaluación del Plan señalando que los principales impactos de su aplicación se han visto reflejados en: i) mayores retornos económicos por parte de los principales sectores usuarios del agua, ii) en la existencia de sistemas de gobernanza fortalecidos, iii) en un mayor involucramiento de la comunidad en la gestión de los

---

<sup>11</sup> Otras agencias que tienen un rol clave en la implementación del Plan es la Autoridad de la Cuenca Murray-Darling (*Murray-Darling Basin Authority*) la cual es responsable de la planificación del manejo integrado de los recursos hídricos de la cuenca y la Agencia de Meteorología (*Bureau of Meteorology*) responsable generar, analizar y entregar información referente a los recursos hídricos de Australia, la Comisión de Productividad y la Agencia Australiana de Agricultura, Recursos Económicos y Ciencia (*Australian Bureau of Agricultural and Resources Economics and Sciences (ABARES)*).

<sup>12</sup> Disponible en <http://webarchive.nla.gov.au/gov/20160615060431/http://nwc.gov.au/>

recursos hídricos y iv) en el establecimiento de acuerdos para asegurar un buen estado ecológico de los principales cuerpos de agua de Australia.

En particular el fortalecimiento de los mercados de agua ha facilitado el traspaso de los títulos de agua hacia usos de mayor valor, particularmente en tiempos de escasez lo que ha incentivado la inversión, innovación y uso eficiente del agua. Por otra parte, se comprueba que las inversiones realizadas en mejoramiento de infraestructura de riego (intra y extra predial) han mejorado la eficiencia tanto técnica como económica del agua lo que ha permitido aumentar la sustentabilidad en el uso del recurso. Además como consecuencia de la aplicación de diversos programas financiados por Commonwealth se puede comprobar la mejora en los sistemas de generación, análisis y entrega de información respecto al estado de los recursos hídricos lo cual ha mejorado el proceso de toma de decisiones en todas las jurisdicciones de la cuenca Murray-Darling.

Las reformas también han fortalecido el rol de las comunidades en la gestión del agua al incluir sus requerimientos tanto en la formulación como en la aplicación de políticas a nivel local. Finalmente, se ha logrado, en gran parte del país, la Seguridad Hídrica respecto a la provisión de agua, en calidad y cantidad, para la satisfacción de las demanda a nivel urbano, en gran parte debido a la inversión en nuevas fuentes agua.

A pesar del notable éxito en la aplicación del Plan, diversos desafíos quedan por afrontar en el futuro como por ejemplo el lograr la Seguridad Hídrica en su dimensión medioambiental y la consolidación de los sistemas de gobernanza que guían la gestión del agua. Respecto a los desafíos medioambientales dos elementos son importantes de considerar al momento de evaluar la aplicación de la NWI en esta dimensión: i) muchos de los planes no han sido implementados correctamente y/o en su totalidad y ii) muchos de los resultados esperables solo podrán valorarse correctamente en un periodo de tiempo mayor al estipulado dentro de los plazos del Plan (National Water Commission, 2014). En relación al fortalecimiento de los sistemas de gobernanza, Patrick et al. (2016) señala que dentro de los principales desafíos que deben afrontar las principales agencias responsables de la gestión del agua es el congeniar los intereses nacionales con los locales de modo de evitar una discontinuidad entre el proceso de generación de una política y su posterior implementación. Finalmente, los mismos autores señalan que será de suma importancia para el logro de la Seguridad Hídrica en Australia entender que ésta no será independiente del logro de la seguridad alimentaria y energética, por lo que será clave identificar que metas u objetivos de estos otros sectores podrán facilitar o dificultar su logro.

### VI.2.B. España

España se caracteriza por poseer, en gran parte de su territorio, un clima con una prolongada estación seca y donde las precipitaciones se concentran en la época de invierno. Esta condición, similar a la encontrada en países como Sudáfrica, Australia, Israel, la zona centro-norte de Chile y los estados del oeste de USA, ha creado la necesidad de desarrollar una amplia red de infraestructura de riego y de conservación y almacenamiento de agua que le ha permitido satisfacer las demandas de los principales usuarios de agua: la agricultura y uso humano doméstico. Este nivel de inversión en infraestructura y tecnología para lograr la Seguridad Hídrica ha situado a España como uno de los países con mayor capacidad de almacenamiento de agua per cápita en el mundo (López et al 2012) y le ha permitido desacoplar, en parte, el crecimiento económico del uso



creciente de los recursos hídricos. Con el objeto de seguir disminuyendo la vulnerabilidad del país a la variabilidad del clima (ej. cambio climático), es que actualmente los objetivos de Seguridad Hídrica para los diferentes sectores económicos son perseguidos a través de un conjunto de nuevas estrategias que incluyen tanto la exploración de nuevas fuentes de recursos hídricos (ej. desalación) como el desarrollo de tecnologías para reutilización de agua y recarga de acuíferos. Por otra parte, para el caso del mejoramiento del estatus ecológico de los diferentes cuerpos de agua España ha debido circunscribirse a los diferentes objetivos que demanda la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (López et al. 2016).

En España la Seguridad Hídrica abarca un conjunto de dimensiones cuyos objetivos, en muchos casos han sido difíciles de equilibrar. Al respecto, el logro de la Seguridad Hídrica en relación a la disminución de los riesgos frente a eventos extremos, la satisfacción de las necesidades básicas humanas (agua potable y saneamiento) y de la agricultura ha sido relativamente exitoso, sin embargo, el país no ha podido consolidar un sistema eficiente en relación a la recuperación de gastos que ha implicado el alcanzar dichos objetivos de gestión, lo que ha puesto en riesgo la mantención en el tiempo de éstos logros y principalmente la Seguridad Hídrica en su dimensión medioambiental. Por ejemplo, Lafuente (2013), muestra que las tarifas de agua potable urbana en España son en general bajas y no se correlacionan ni con la disponibilidad física del recurso ni con su estatus de calidad, los cuales demandan inversiones en mantenimiento de infraestructura que no alcanzan, en muchos casos, a solventarse con el nivel de tarifas aplicado. Por otra parte, la falta de financiamiento que permita mantener en correcto funcionamiento algunos sistemas terciarios de tratamientos ha significado el deterioro de la condición ecológica de muchos cuerpos de agua afectando, de esta manera, el logro de la Seguridad Hídrica en su dimensión medioambiental (López et al. 2016).

Un ámbito clave a tomar cuenta es la inclusión de la Directiva Marco del Agua (DMA) de la Unión Europea en la legislación española, situación que ha obligado a España a desarrollar políticas para mejorar y mantener los diferentes cuerpos de agua bajo un *buen estatus* ecológico; logro que por mandato de la DMA debe ser cumplido al año 2027. La aplicación de la DMA ha significado un cambio paradigmático en la forma de entender la Seguridad Hídrica en el país. En este sentido los diferentes actores relacionados con la gestión del agua han tenido que reconocer que dentro de requisitos prioritarios para alcanzar la Seguridad Hídrica están el mejorar y mantener los cuerpos de agua con un *buen estatus* ecológico y el elaborar los planes de gestión a nivel de cuenca procurando balancear las diferentes metas de gestión que cada usuario del agua tiene.

Finalmente es importante mencionar que debido al carácter público de los recursos involucrados para hacer frente a la escasez hídrica, la existencia de mecanismos para asignar responsabilidades claras dentro del sistema de gobernanza es clave para el logro de la Seguridad Hídrica. Estos mecanismos describen la relación entre los actores responsables de rendir cuenta respecto a la gestión de recursos hídricos (ej. personeros de gobierno, profesionales de gobierno, sector privado) y aquellos que la demanda (ej. actores sociales) existiendo sanciones cuando se verifican malas prácticas o abusos. En España dos estrategias son consideradas para dar cuenta del estado actual de la gestión del agua: 1) estrategia *top-down* en donde el sector público provee información a la ciudadanía por intermedio de boletines, informes, etc, principalmente a través de internet; y 2) estrategia *bottom-up* en donde la ciudadanía, dentro de procedimientos establecidos por ley,



solicita información a las autoridades correspondientes. Estos mecanismos han resultado ser útiles para crear un control social, por ejemplo, sobre los criterios utilizados para aprobar inversiones relacionadas con el uso del agua, sobre la efectividad de las políticas implementadas y sobre el desenvolvimiento de las autoridades en relación a sus obligaciones en la gestión del recurso hídrico. No obstante lo anterior, España al año 2011 continuaba tendiendo brechas de información respecto al manejo y uso del agua (quién está usando el agua) y al nivel de recuperación de costos en la construcción, operación y mantenimiento, por ejemplo, de nueva infraestructura pública (López et al. 2016).

### VI.2.C. México

México, al igual que Chile presenta grandes contrastes en su territorio, existiendo dos regiones con marcadas diferencias demográficas, económicas e hídricas. Es así como la zona norte correspondiente al 75% del territorio nacional, presenta un cuarto del agua disponible (precipitaciones anuales menores a 500 mm), concentra el 75% de la población y el 75% del PIB. En contraposición el 25% del territorio nacional presenta las tres cuartas partes del agua disponible (precipitaciones anuales mayores a 2000 mm), el 22% del PIB nacional y el 25% de la población. Esta situación, junto con el cambio climático y el acelerado crecimiento demográfico, posiciona al sector hídrico como un tema transversal siendo el agua un asunto de seguridad nacional. En este contexto, es que el Gobierno busca implementar un enfoque proactivo, que le permita asegurar el abastecimiento de agua potable y fortalecer la capacidad de respuesta ante los desafíos relacionados con el cambio climático (Camarena, 2016).

México, en su Programa Nacional Hídrico 2014 – 2018, considera la seguridad hídrica como uno de sus objetivos, para lo cual adopta la definición de la Organización de las Naciones Unidas, la cual expone que la Seguridad hídrica es la “capacidad de la población de salvaguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas y de calidad aceptable de agua para sostener los medios de sustento, el bienestar humano y el desarrollo socioeconómico, para garantizar la protección contra la contaminación del agua y los desastres relacionados con el agua, y para preservar los ecosistemas en un clima de paz y estabilidad política”.

En la política nacional, se plantea 4 lineamientos en materias de agua: i) Servicios de agua adecuados, accesibles, asequibles y expeditos, ii) agua para la seguridad alimentaria que aliente la producción suficiente de alimentos para la población y el respaldo a las acciones de la Cruzada Nacional Contra el Hambre, iii) manejo responsable y sustentable del agua para orientar su uso y consumo racionales y iv) reducir la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático y las contingencias ambientales. Todos ellos comparables y consecuentes con las dimensiones y/o componentes básicos de la Seguridad Hídrica.

Al año 2014, México se plantea cinco reformas en el sector hídrico las cuales, se espera, contribuyan al mejoramiento de la gestión de los recursos hídricos en un escenario de cambio climático y constantes cambios económicos y demográficos. Estas reformas se centran en el marco jurídico, el marco institucional, el sistema de gestión de recursos humanos, el sistema financiero y la planeación hídrica. Específicamente se plantea: i) la generación de una ley general de aguas que defina las bases para el acceso y uso equitativo de las aguas junto con reglamentos y normas que permitan regular los usos; ii) la reestructuración de las instituciones del sector hídrico; iii) incorporación de recurso



humano especializado; iv) Reforma del sistema financiero del sector hídrico; v) Planificación hídrica.

Adicionalmente, se expone la relevancia de la incorporación de la Gestión Integrada de Recursos Hídrico, de una mayor participación de la sociedad y de una Estrategia Nacional de adaptación y mitigación del sector hídrico ante el cambio climático. Estos tres puntos corresponden a elementos determinantes en la búsqueda de la Seguridad Hídrica nacional.

Respecto a los objetivos del Programa Nacional Hídrico destaca fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones, fortalecer el abastecimiento de agua potable y saneamiento y asegurar el agua para los diferentes usos de manera sustentable. Estos cuatro objetivos apuntan a la satisfacción de la seguridad hídrica a nivel país, ya que abordan la gobernanza y la gobernabilidad de las aguas, la regulación de usos, la consideración de las interconexiones entre aguas superficiales y subterráneas, calidad de las aguas, reducción de vulnerabilidad, y consideración de cambio climático.

Según Martínez-Austria (2013) los principales desafíos de seguridad hídrica para México son la escasez hídrica, la contaminación, conflictos por el agua y el deterioro ambiental, todos ellos consecuencia del crecimiento de la población, aumento de demanda alimentaria, aumento de la demanda de producción energética, cambio climático y los problemas en gestión de agua. Consecuencia de esto, es que la gobernanza, los mecanismos de resolución de conflictos y la generación de conocimiento e innovación cobran valor, siendo imperante a raíz de las proyecciones tendenciales que exponen un escenario de escasez, competencia entre usos y sobreexplotación.

#### VI.2.D. California, Estados Unidos

La escasez hídrica es un problema severo en la zona árida y semiárida del oeste de Estados Unidos, especialmente en el Estado de California en donde la mayor parte de las precipitaciones cae en la vertiente oeste de las montañas de la zona norte del Estado estando la mayor cantidad de población y superficie agrícola ubicada en la región árida del sur. Para hacer frente a este problema, durante el Siglo XX un conjunto de medidas que involucraron la construcción de embalses, sistemas de conducción de agua entre cuencas, infraestructura de contención de inundaciones fueron puestas en marcha con consecuencias negativas sobre los ecosistemas de agua dulce (California Natural Resources Agency et al. 2014).

Actualmente diferentes iniciativas con objetivos concretos se han planteado para cambiar el paradigma de gestión que dominó el siglo pasado hacia una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). Al respecto, el plan de acción que rige la gestión del agua en el Estado es el California Water Plan Update 2016. Este Plan establece de manera concreta tres objetivos o metas que deberían cumplirse de aquí al año 2019: tener sistemas de suministros de agua confiables, restaurar los ecosistemas de agua dulce y poseer un sistema de gestión de recursos hídricos más resiliente y sustentable que permita hacer frente a las presiones ya sea climáticas como económicas y sociales en el futuro. Es importante señalar que aunque el concepto de Seguridad Hídrica y sus elementos teóricos no están objetivamente declarados en dicho Plan, las metas que lo direccionan pueden ser entendidas como las principales metas de Seguridad Hídrica para el Estado de California. Al respecto, se entiende de estos objetivos que la Seguridad Hídrica es una meta que será



alcanzada a través de iniciativas que reconocen la interacción de los diferentes elementos involucrados en el sistema hídrico como por ejemplo la salud de los ecosistemas con la satisfacción de las necesidades humanas. En relación a esto último se destacan dos iniciativas sinérgicas claves: el California WaterFix<sup>13</sup> y Eco Restore<sup>14</sup> programas creados para hacer frente a la vulnerabilidad de los sistemas de conducción y entrega de agua dulce a lo largo de gran parte del Estado y para mejorar el estado de los ecosistemas asociados a los sistemas hídricos respectivamente.

Para aplicar el plan antes mencionado, el Estado de California ha fomentado un conjunto de proyectos y programas integrados (ej. California WaterFix y Eco Restore) los cuales han demandado la participación conjunta de la comunidad, sectores productivos y agencias en todos los niveles de gobierno. Dentro de las estrategias lideradas tanto por agencias locales, como regionales y estatales está el disminuir las demandas por recursos hídricos y el desarrollar nuevas fuentes de agua (ej. desalación de agua de mar) así como la implementación de nuevas tecnologías para restaurar acuíferos, mejorar la eficiencia en el uso del recurso, acumular agua lluvias y mejorar la condiciones medioambientales de los diferentes cuerpos de agua (California Natural Resources Agency et al. 2014).

Finalmente, es importante señalar que una nueva actualización del Plan a 2018 está actualmente en desarrollo<sup>15</sup>.

#### VI.2.E. Región del Asia Pacífico

El Asia Pacífico (SA) es una de las regiones más dinámicas y con el crecimiento demográfico y económico más rápido en el mundo. Esta región es habitada por cerca de 3900 millones de personas distribuidas en 55 países que se caracterizan por poseer distintos niveles de desarrollo económico y diferentes tradiciones culturales. En los últimos años el SA ha tenido que enfrentar un conjunto de desafíos socioeconómicos y ambientales derivados especialmente de: i) un acelerado crecimiento demográfico (tasa de crecimiento 2,3% anual) que ha incrementado la demanda por materias primas y recursos hídricos; ii) cambios drásticos en el uso de la tierra lo cual ha alterado los ecosistemas y regímenes hidrológicos; iii) una rápida urbanización que ha requerido mayor disponibilidad de tierra y agua y iv) cambios ambientales dentro de los que se incluye el cambio climático que ha afectado la provisión y acceso al agua, la provisión de servicios ecológicos entre otros (AWDO, 2013; Lansigan y de la Cruz, 2016) .

Con el objeto de dar respuesta a los desafíos que involucran tener una seguridad hídrica, alimentaria y energética en la región, es que durante la última década se han puesto en práctica diversas iniciativas dentro de las cuales destaca la Asian Water Development Outlook (AWDO) cual tiene como objetivo el logro y mantención de la Seguridad Hídrica de los países. Esta iniciativa creada por el Asia-Pacific Water Forum (APWF) y el Asian Development Bank (ADB), ha logrado crear un sistema de valoración de la Seguridad Hídrica a nivel nacional que ha sido aplicado en 49 países de la región (AWDO, 2013).

<sup>13</sup> <http://watersecurityca.com/about-the-waterfix-plan/>

<sup>14</sup> <http://resources.ca.gov/ecorestore/>

<sup>15</sup> <http://www.water.ca.gov/waterplan/cwp/update2018/index.cfm>



Este sistema utiliza un índice de seguridad hídrica que integra información de cinco dimensiones de Seguridad Hídrica. Cada dimensión es valorada por un índice que integra información de diferentes indicadores. Al respecto las dimensiones de Seguridad Hídrica consideradas son: i) Seguridad Hídrica a nivel de Hogar; ii) Seguridad Hídrica económica; iii) Seguridad Hídrica urbana; iv) Seguridad Hídrica ambiental y v) Vulnerabilidad y resiliencia frente a eventos extremos. Los índices de Seguridad Hídrica son calculados con información pública y de carácter científica, sin embargo, cuando se carece de información los datos se han estimado mediante criterio experto (AWDO, 2013)

Con el índice antes mencionado se ha calculado la Seguridad Hídrica de los 49 países en dos ocasiones, estando la última valoración disponible públicamente en (AWDO, 2013)<sup>16</sup>.



---

<sup>16</sup> <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/189411/awdo-2016.pdf>

## VII. INDICADORES DE SEGURIDAD HÍDRICA

### VII.1. Metodología

Para efectos de proponer una batería de indicadores de Seguridad Hídrica aplicables a la realidad nacional se llevó a cabo una revisión y análisis de las principales propuestas metodológicas publicadas a nivel internacional tanto por la comunidad científica como por diferentes instituciones y/o organismos de estado en regiones en donde el concepto de Seguridad Hídrica ha sido llevado a la práctica. Al respecto, a continuación se muestran los principales documentos seleccionados para respaldar la propuesta descrita en el presente capítulo.

1. AWDO (Asian Water Development Outlook). 2013. Measuring water security in Asia and the Pacific.
2. Dunn, G., C. Cook, K. Bakker. 2012. Defining and assessing water security. En: *Water Security, Guidance Document*, Canadá.
3. Dunn, G., K. Bakker. 2009. Canadian approaches to assessing water security: an inventory of indicators Policy report, *Project: Developing a Canadian Water Security Framework as a Tool for Improved Water Governance for Watersheds (2008–2012)*.
4. Mason, N., R. Calow. 2012. Water security: from abstract concept to meaningful metrics. An initial overview of options. ODI Working Paper 357.
5. GWP (Global Water Partnership). 2014. Assessing water security with appropriate indicators. Proceedings from the GWP Workshop, Stockholm, Sweden.
6. GWP (Global Water Partnership). 2014. Water security: putting the concept into practice.
7. Norman, E., G. Dunn, K. Bakker, D. M. Allen, R. Cavalcanti de Albuquerque. 2013. Water security assessment: integrating governance and freshwater indicators. *Water Resource Manage* 27:535-551.
8. Liu, J., Q. Liu, H. Yang. 2016. Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. *Ecological Indicators* 60:434-441.
9. Rodrigues, D.B., H.V. Gupta, E.M. Mendiondo. 2014. A blue/green water-based accounting framework for assessment of water security. *Water Resource Research* 50:7187-7205.
10. Veettil, A.V., A.K. Mishra. 2016. Water security assessment using blue and green water footprint concepts. *Journal of Hydrology* 542: 589-602.

El enfoque metodológico fue validado por profesionales del Ministerio de Obras Públicas y Ministerio del Ambiente en una reunión de trabajo desarrollada el día 18 de noviembre de 2016 y cuyo detalle se muestra en el Capítulo IX.



## VII.2. Resultados

### VII.2.A. Propuesta de indicadores e índices de Seguridad Hídrica

Una de las herramientas ampliamente validadas y utilizadas para evaluar tanto metas como objetivos de Seguridad Hídrica ha sido el uso de indicadores e índices (ej. Mason and Calow, 2012; Norman et al. 2013; GWP, 2014; AWDO, 2013-2016; Rodrigues et al. 2014). En términos conceptuales, un **indicador**, en el contexto de la presente propuesta, corresponderá a una variable cuantitativa o cualitativa de carácter univariado que provee información válida y confiable acerca del estado de la Seguridad Hídrica en un momento determinado. De esta manera un indicador de Seguridad Hídrica permitirá valorar los cambios en la condición de cada una de las dimensiones y sub-dimensiones de Seguridad Hídrica, producto de la aplicación de medidas, planes, y/o estrategias a fines. Por otra parte, un **índice** será entendido como una variable cuantitativa o cualitativa de carácter multivariado que integra información de dos o más indicadores.

Dicho lo anterior, en las siguientes secciones se describe la propuesta metodológica para definir el conjunto de indicadores e índices que permitirán evaluar la Seguridad Hídrica en Chile. Esta propuesta sigue el enfoque aplicado por AWDO, (2013) para medir de forma integral la Seguridad Hídrica de los países del Asia Pacífico.

En términos generales, el método permite que cada sub-dimensión de Seguridad Hídrica pueda ser cuantificada mediante el uso de uno o más indicadores, los cuales al integrarse en un índice generan un valor representativo de cada sub-dimensión a nivel de cuenca. De la misma manera, la integración de los índices por sub-dimensión permitirá valorar el estado de Seguridad Hídrica a nivel de dimensión.

En las siguientes secciones se describen los principales pasos del enfoque metodológico propuesto.

#### *i) Valoración del estado de Seguridad Hídrica a nivel de sub-dimensión*

Cada sub-dimensión de Seguridad Hídrica es valorada mediante un índice el cual se construye integrando información proveniente de un conjunto de indicadores.

Para definir la batería de indicadores que permita construir el índice de Seguridad Hídrica por sub-dimensión, se identificaron y analizaron un conjunto de indicadores potencialmente adecuados para valorar la Seguridad Hídrica en el país (ver Anexo 6). La propuesta final se describe a continuación y considera un conjunto de indicadores para evaluar la Seguridad Hídrica a una escala espacial de cuenca.

Tomando en cuenta las diferentes alternativas identificadas en la literatura se propone para las sub-dimensiones de las dimensiones 1, 2 y 3 la definición de indicadores basados en dos enfoques que describen la relación existente entre la oferta y demanda de recursos hídricos: i) Enfoque basado en huella hídrica (*HH*; Hoekstra et al. 2011) y ii) enfoque basado en los requerimientos de agua en relación a la disponibilidad del recurso hídrico a escala de cuenca.

Es importante señalar que independiente del enfoque utilizado para definir los indicadores, es relevante indicar que éstos se caracterizan por:



- Constituir una herramienta genérica aplicable a las distintas cuencas del país para valorar el impacto de las medidas planes y/o estrategias implementadas con el objeto de alcanzar Seguridad Hídrica.
- Constituir una herramienta que permite comparar el estado de la Seguridad Hídrica de diferentes cuencas en un momento determinado.
- Reflejar los intereses establecidos en las metas y/o objetivos de Seguridad Hídrica en cada una de sus dimensiones y sub-dimensiones.
- Estar contruidos preferiblemente con información y/o datos de carácter público actualmente disponibles.
- Ser de fácil comprensión, actualizables en el tiempo, transparentes, confiables y precisos.
- Agregar o simplificar información relevante desde variables o parámetros lo suficientemente amplios para describir la complejidad de los procesos o aspectos de interés en cada dimensión y sub-dimensión de Seguridad Hídrica.

**Enfoque basado en la huella hídrica (HH).** En base a los procesos hidrológicos involucrados, los recursos de agua dulce pueden ser clasificados en “agua azul” y “agua verde”. Mientras el “agua azul” corresponde a aquella que se encuentra en lagos, ríos, embalses y acuíferos, el “agua verde” es el agua contenida en el suelo y vegetación y que proviene principalmente de las precipitaciones (Hoekstra et al. 2011; Rodrigues et al. 2014). La evaluación del consumo del agua azul y verde por parte de las actividades humanas constituye un objetivo clave para efectos de llevar cabo una eficaz gestión del agua (Liu et al. 2016) y puede ser cuantificado aplicando el concepto de huella hídrica (HH; Rodrigues et al. 2014; Liu et al. 2016).

La huella hídrica corresponde a un indicador que entrega información respecto al **uso consuntivo del agua dulce**<sup>17</sup> y **contaminación de ésta** por los diferentes sectores demandantes de recursos hídricos (Hoekstra et al. 2011). Al respecto, tres componentes son identificables: la huella azul ( $HH_A$ ), la huella verde ( $HH_V$ ) y la huella gris ( $HH_G$ ). Mientras la huella azul ( $HH_A$ ) es el volumen de agua azul que es consumida por las actividades humanas, la huella verde ( $HH_V$ ) representa la fracción de “agua verde” que es consumida principalmente por la producción forestal y agrícola de secano. La huella gris ( $HH_G$ ) es definida como el volumen de agua dulce requerida para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua esté sobre los estándares aceptables (Hoekstra et al. 2011). Es importante señalar que el concepto de huella hídrica considera, también, el uso indirecto del agua (agua virtual; Hoekstra et al. 2011) el cual para efectos del presente estudio no es tomado en cuenta, principalmente por la dificultad que demanda su estimación a escala de cuenca.

La aplicación de estos conceptos, tal como su definición lo indica, facilita la estimación del volumen de agua utilizado o a utilizar por un sector en relación al tipo de fuente desde la cual se extrae el recurso ( $HH_A$  versus  $HH_V$ ) así como también el cálculo de la demanda de agua por parte del sistema

---

<sup>17</sup> Como indicador de “uso del agua”, la huella hídrica (HH) considera solo el agua consumida (ej. evaporada o integrada a los productos) sustrayendo de su cálculo, por ejemplo para la HH azul, los caudales que retornan a los cuerpos de agua.



hídrico ( $HH_G$ ) para efectos de cumplir con las diferentes normas de calidad de agua. Por lo tanto, la estimación de  $HH_A$ ,  $HH_V$  y  $HH_G$  permite, mediante su relación con la disponibilidad de agua, valorar diversas dimensiones de la Seguridad Hídrica de una cuenca al entregar información sobre los niveles de satisfacción de la demanda en términos de cantidad y calidad por parte de las actividades humanas y sistemas ecológicos. Tomando en cuenta dicha relación Rodrigues et al. (2014) y Veetil y Mishra (2016) proponen la aplicación del concepto de  $HH$  para valorar la Seguridad Hídrica a escala de cuenca mediante un indicador de escasez hídrica (basado en Hoekstra et al. 2012) y un indicador de vulnerabilidad hídrica (basado en Padowski y Jawitz, 2012); propuesta que es considerada en el presente estudio para valorar la Seguridad Hídrica de las dos sub-dimensiones de la Dimensión 1, a la sub-dimensión referida a las actividades económicas extractivas de la Dimensión 2 y a la sub-dimensión “Control de contaminación” de la Dimensión 3.

Para efectos de presente propuesta y siguiendo a Hoekstra et al. (2012) la escasez hídrica en una cuenca es definida como la razón entre la huella hídrica de un sector productivo a nivel de cuenca y el recurso hídrico disponible para satisfacer la demanda por parte de dicho sector. En concordancia con lo anterior se tiene que:

$$S = \frac{HH}{Disp} \times 100$$

donde  $S$  es el indicador de escasez hídrica (%),  $HH$  corresponde a la huella hídrica de un sector productivo particular a nivel cuenca ( $m^3/s$ ) y  $Disp$  corresponde al recurso hídrico disponible para dicho sector calculado en función de la oferta (caudal medio anual + tasa de recarga media anual del acuífero;  $m^3/s$ ) y los Derechos de Aprovechamiento de Agua (DAA;  $m^3/s$ ). A diferencia de Hoekstra et al. (2012), Rodrigues et al. (2014) y Veetil y Mishra (2016) quienes consideraron para el cálculo de la disponibilidad hídrica el caudal ecológico de las cuencas (80% del caudal medio mensual de la cuenca), la estimación de  $Disp$ , para el caso de la presente propuesta, no lo considera debido a que la legislación chilena sólo a partir de 2005 establece un caudal ecológico mínimo para la constitución de nuevos DAA<sup>18</sup>. En otras palabras dado que una gran proporción de los DAA fueron constituidos antes de la modificación del Código de Aguas en 2005, la disponibilidad de recursos hídricos para satisfacer las demandas de los diferentes usos consuntivos no considera el caudal ecológico en muchas de las cuencas del país.

---

<sup>18</sup> Ley 20.017/2005. Al respecto el Art. 129, bis 1 del CA establece que "al constituir los derechos de aprovechamiento de aguas, la Dirección General de Aguas velará por la preservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente, debiendo para ello establecer un caudal ecológico mínimo, el cual sólo afectará a los nuevos derechos que se constituyan, para lo cual deberá considerar también las condiciones naturales pertinentes para cada fuente superficial". Por otra parte, en 2012 se aprueba el "Reglamento para la Determinación de un Caudal Ecológico Mínimo. Decreto N°14 del 22 de mayo de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente (Toma de Razón CGR el 19 de julio de 2013 y publicación D.O., el 30 de julio de 2013). Modificado por DS 71/2015", el cual fija los criterios por los cuales se regirá la determinación del caudal ecológico mínimo, de conformidad con lo establecido en el artículo 129 bis 1 del Código de Aguas.



Respecto al indicador de vulnerabilidad (**SV**; %) este es calculado como la fracción entre **HH** y la disponibilidad física de agua (caudal medio anual + tasa de recarga media anual del acuífero) correspondiente a un volumen ( $m^3/s$ ) con probabilidad de excedencia del 85% (**Disp<sub>85%</sub>**).

$$V = \frac{HH}{Disp_{85\%}} \times 100$$

**VS** evalúa la sostenibilidad ambiental de **HH<sub>A</sub>** y **HH<sub>V</sub>** en relación a los niveles de agua disponibles bajo condiciones de bajo caudal y/o bajas tasas de recarga a nivel de cuenca o bajo un escenario de sequía (Rodrigues et al. 2014). De este modo se puede facilitar la identificación de zonas (en el tiempo y espacio) en los cuales potenciales conflictos por el agua son más probables que ocurran.

Dentro de las ventajas que motivan la aplicación de esta propuesta a la realidad del país están que:

- Los indicadores construidos en base al concepto de **HH** entregan información del consumo real de recursos hídricos por parte de una actividad productiva dado un volumen de agua disponible. En concordancia con lo explicitado por Hoekstra et al. (2012), la utilización de valores de demanda y/o volúmenes de agua extraídos por sector sin considerar los caudales de retorno (agua que potencialmente puede ser reutilizada por otros usos) no entregan una descripción objetiva del estado de escasez hídrica a escala de cuenca.
- Los indicadores construidos en base al concepto de **HH** son simples de construir y de interpretar. Al respecto, y en función de la sub-dimensión, los indicadores requerirán información referida a oferta y demanda de recursos hídricos a nivel de cuenca (datos actualmente en proceso de actualización por DGA) y de eficiencia en el uso de la agua (valores estándares para diferentes usos productivos disponibles), información que puede ser proyectada en el tiempo en función de escenarios de cambio climático y/o indicadores sectoriales publicados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), Instituto Forestal de Chile (INFOR), Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), entre otras instituciones.
- Los indicadores construidos bajo esta metodología pueden ser aplicables a variadas escalas temporales (ej. anual, mensual) y espaciales (ej. cuenca, sub-cuenca, sub-sub cuenca). Su correcta aplicación dependerá del objetivo de trabajo planteado y de la disponibilidad de información existente. Por ejemplo, si se plantea valorar la Seguridad Hídrica a nivel de comuna la información requerida, por ejemplo para la agricultura, será de un detalle mucho mayor (ej. requerimientos de agua por procesos específicos) que si se evaluara a nivel de cuenca (ej. la **HH** a nivel de cuenca puede ser estimada en función de los demandas sectoriales por agua en relación a sus niveles de producción promedio y eficiencias de uso del recurso hídrico).

Es importante señalar que aunque de forma práctica resulta atractivo el cálculo de los indicadores propuestos a una escala temporal anual, su interpretación puede inducir a



valorar erróneamente la Seguridad Hídrica de una cuenca, al no tomar en consideración la variabilidad intra anual tanto de la oferta como de la demanda de recursos hídricos.

- Los indicadores diseñados bajo este enfoque son aplicables tanto para procesos de planificación futura (ej. bajo escenarios de cambio climático y cambios en los patrones de demanda) como para describir el estado de Seguridad Hídrica en un momento de tiempo determinado.
- Permiten la inclusión del aporte de nuevas fuentes de agua (ej. desalinización) al cálculo de la disponibilidad de agua para los diferentes usos.
- En concordancia con la conceptualización de Seguridad Hídrica (Ver Sección III) los indicadores propuestos bajo este enfoque permiten establecer objetivos de Seguridad Hídrica los cuales deben estar declarados en cada sub-dimensión (Figura 6). Por ejemplo, a través de ellos se puede establecer que la meta de Seguridad Hídrica para un sector será consumir un 85% del agua disponible para satisfacer sus demandas. Es importante señalar que las metas de Seguridad Hídrica, a diferencia de los respectivos objetivos, están declaradas, de manera general, en cada una de las dimensiones propuestas en el Capítulo II:
  - Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano.
  - Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable.
  - Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos.
  - Reducción de los riesgos relacionados a eventos extremos relacionados.

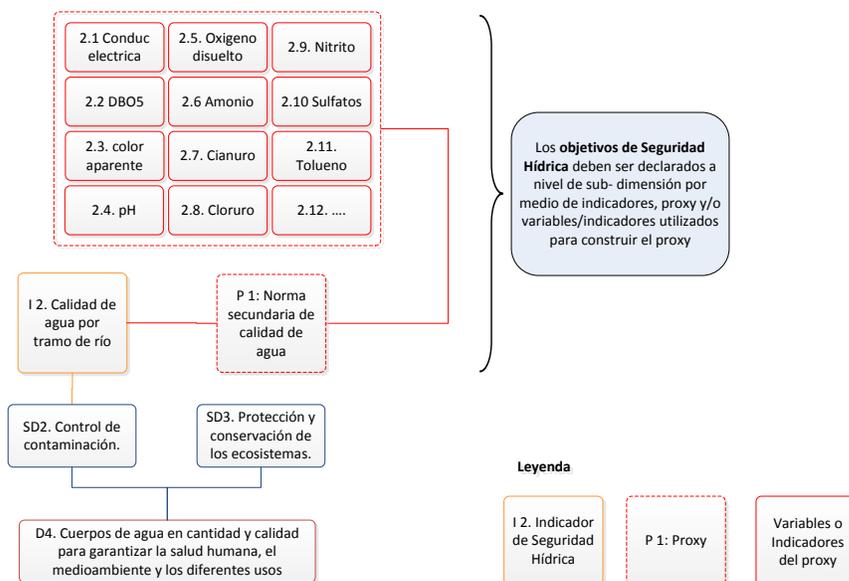


Figura 6. Esquema general indicando los niveles en los cuales deben ser declarados los objetivos de Seguridad Hídrica. Fuente: Elaboración propia



**Enfoque basado en los requerimientos de caudales en relación a la disponibilidad del recurso hídrico superficial.** Este enfoque es aplicado a escala de cuenca para valorar las sub-dimensiones que consideran a los usos no consuntivos como la hidroelectricidad, turismo y acuicultura. Al respecto y al igual que los indicadores basados en *HH*, la Seguridad Hídrica valorada bajo este enfoque considera la utilización de un indicador de escasez hídrica y un indicador de vulnerabilidad.

$$S = \frac{Q_E}{(Q_T - Q_{UC})} \times 100$$

$$V = \frac{Q_E}{(Q_{T85\%} - Q_{UC})} \times 100$$

donde *S* es el indicador de escasez hídrica (%), *Q<sub>E</sub>* corresponde al caudal demandado por el uso no consuntivo (m<sup>3</sup>/s), *Q<sub>T</sub>* corresponde a la oferta total de recursos hídricos descrita por el caudal medio anual de la cuenca (m<sup>3</sup>/s), y *Q<sub>UC</sub>* caudal disponible para usos consuntivos (m<sup>3</sup>/s) el cual es función de la oferta total de recursos hídricos superficiales y los DAA superficiales asignados a los usos consuntivos. Respecto al indicador de vulnerabilidad (*VS*) este es calculado como la fracción entre *Q<sub>E</sub>* y la diferencia entre la oferta de agua (caudal medio anual) correspondiente a un volumen (m<sup>3</sup>/s) con probabilidad de excedencia del 85% y *Q<sub>UC</sub>*. De manera general y para ambos indicadores, un valor calculado menor a 100% o una condición en la cual *Q<sub>T</sub>* (o *Q<sub>T85%</sub>*) = *Q<sub>UC</sub>* (indeterminación del indicador) indica un escenario de *inseguridad* hídrica.

Dentro de las ventajas que supone la utilización de este tipo de indicadores están las siguientes:

- Los indicadores construidos siguiendo este enfoque son simples de construir y de interpretar. Al respecto, y en función de la sub-dimensión, los indicadores requerirán información referida a oferta y demanda de recursos hídricos por parte de usos no consuntivos a nivel de cuenca (datos actualmente en proceso de actualización por DGA), información que puede ser proyectada en el tiempo en función de escenarios de cambio climático y/o indicadores sectoriales publicados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Ministerios de Energía, SERNAPESCA, Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR), entre otras.
- Los indicadores construidos bajo esta metodología pueden ser aplicables a variadas escalas temporales (ej. anual, mensual) y espaciales (ej. cuenca, sub-cuenca, sub-sub cuenca). Su correcta aplicación dependerá del objetivo de trabajo planteado y de la disponibilidad de información existente.

Al igual que para el caso de los usos consuntivos, es importante señalar que aunque de forma práctica resulta atractivo el cálculo de los indicadores propuestos a una escala temporal anual, su interpretación puede inducir a valorar erróneamente la Seguridad



Hídrica de una cuenca, al no tomar en consideración la variabilidad intra anual tanto de la oferta como de la demanda de recursos hídricos.

- Los indicadores diseñados bajo este enfoque son aplicables tanto para procesos de planificación futura (ej. bajo escenarios de cambio climático y cambios en los patrones de demanda) como para describir el estado de Seguridad Hídrica en un momento de tiempo determinado.
- En concordancia con la conceptualización de Seguridad Hídrica (Ver Sección III) los indicadores propuestos bajo este enfoque permiten establecer objetivos de Seguridad Hídrica (Figura 6).

Es importante señalar que para una correcta interpretación de los indicadores propuestos bajo este enfoque se deben tomar en cuenta los siguientes supuestos:

- Se asume que el volumen de agua realmente utilizado por un sector determinado (ej. hidroelectricidad, acuicultura, turismo) corresponde a su demanda por recursos hídricos descrita por sus DAA asignados.
- Para el cálculo de la disponibilidad se asume que el agua realmente utilizada por los usos consuntivos de la cuenca es igual a los recursos hídricos disponibles ( $Q_{uc}$ ) los cuales están en función de los DAA superficiales asignados a dichos usos. La no utilización de la  $HH$  para estimar los recursos realmente utilizados por los usos consuntivos radica principalmente en la dificultad para estimar la fuente de destino de los caudales de retorno. Al respecto, sólo los caudales que retornan a una fuente superficial pueden ser potencialmente aprovechados por un uso no consuntivo. La aplicación de este supuesto tiene como consecuencia que tanto el nivel de escasez como vulnerabilidad hídrica de estos usos pueda ser sobreestimada.

#### 1) Batería de indicadores de Seguridad Hídrica

### **Dimensión 1: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano**

Esta dimensión responde a una necesidad básica y prioritaria que es resguardar, en calidad y cantidad, el uso del agua para consumo humano. Esta dimensión contempla 2 áreas de importancia i) actividades de subsistencia familiar y ii) necesidades humanas básicas.

#### *i. Actividades de subsistencia familiar*

Esta sub-dimensión hace referencia a los objetivos de Seguridad Hídrica que deben lograrse para mantener de manera sustentable las actividades de subsistencia que desarrollan las comunidades locales o grupos indígenas. Peña (2016) indica que para entender la Seguridad Hídrica es recomendable tener, entre otras cosas, una disponibilidad de agua (en calidad y cantidad) adecuada para los usos de subsistencia.



Dentro de las actividades de subsistencia familiar que mayor dependencia tiene del agua está la agricultura familiar o de autoconsumo que se define como aquella actividad agrícola y ganadera orientada a satisfacer las necesidades básicas de las familias, principalmente producción de comida para el hogar, para lo cual necesitan acceder a agua suficiente, en calidad y cantidad, para producir dichos alimentos.

Para poder estimar el estado de la Seguridad Hídrica en relación a las actividades de subsistencia familiar se propone la creación de un indicador que responda a la pregunta ¿qué proporción del agua que requieren las familias para realizar actividades de subsistencia está siendo satisfecha?

La situación ideal sería contar con un catastro de familias que realizan actividades de subsistencia en el país en conjunto con estimaciones del volumen de agua que estas familias demandan para mantener sus cultivos y animales y si la calidad de agua que utilizan para ello presenta una calidad aceptable. Sin embargo, al no contar con estos datos directamente, se sugiere una aproximación mediante diferentes acercamientos (proxys) que permitan construir un indicador.

Para obtener información sobre el número de familias que se sustenta mediante agricultura de subsistencia se propone preliminarmente utilizar la información que genera INDAP a través de sus programas de desarrollo local, de desarrollo territorial indígena o del FOSIS por medio del Programa de Apoyo a Familias para Autoconsumo.

Un proxy para poder estimar número de familias que se sustenta mediante agricultura de subsistencia corresponde al número de familias o beneficiarios ( $F$ ) que implementan una iniciativa de producción familiar de subsistencia o para el autoconsumo de los programas de INDAP (PRODESAL, PDTI u otro) o FOSIS

Si bien, el número de beneficiarios (INDAP o FOSIS) no es necesariamente el universo de familias que realiza actividades de autoconsumo o subsistencia, corresponde a una buena aproximación, medible en el país, de la cantidad de familias que realiza este tipo de actividad. Con este proxy se asume que los beneficiarios tienen acceso al agua de riego, a tecnologías y a información respecto de los cultivos. Además, se supone que si las familias dejan de tener agua dejarán a su vez de realizar sus actividades de subsistencia.

Para estimar la cantidad de agua que utiliza cada familia en actividades de subsistencia ( $HH_F$ ) se propone asumir un consumo base promedio considerando las actividades realizadas por familia. Se plantea el siguiente proxy:

Huella Hídrica para agricultura de subsistencia por familia ( $HH_F$ )= tipo de cultivo x superficie cultivada x demanda de agua (“agua azul + “agua verde”) + n° animales domésticos (ganado) por familia x consumo de agua de la especies animales (“agua azul”). Al respecto es importante señalar que para el cálculo de  $HH_F$ , la demanda de agua de los cultivos debe ser estimada en base a las tasas de evapotranspiración sin considerar las eficiencias de conducción y aplicación del recurso hídrico en el predio.

La HH para esta sub-dimensión a nivel de cuenca es:



$$HH_{ASF} = F_R \times HH_F$$

donde  $HH_{ASF}$  corresponde a la huella hídrica de las actividades de subsistencia familiar ( $m^3/s$ ),  $F_R$  corresponde al número de familias que realizan actividades de subsistencia y tienen necesidades hídricas en un momento de tiempo particular y  $HH_F$  corresponde a la huella hídrica para agricultura y ganadería de subsistencia por familia en un momento de tiempo particular ( $m^3/s$ ).

El índice de Seguridad Hídrica para esta sub-dimensión estará compuesto por un indicador de satisfacción de las necesidades hídricas o de escasez hídrica ( $S_{ASF}$ ) y un indicador de vulnerabilidad ( $VS_{ASF}$ ). Al respecto,  $S_{ASF}$  corresponde a la razón entre el consumo real de agua por parte de las actividades de subsistencia y la disponibilidad de recursos hídricos para satisfacer dicho consumo lo cual está descrito por la siguiente ecuación:

$$S_{ASF} = \frac{HH_{ASF}}{(Q_T - Q_{UC})} \times 100$$

$HH_{ASF}$  corresponde a la huella hídrica para las actividades de subsistencia familiar,  $Q_T$  corresponde a la oferta de agua (agua “azul” + agua “verde”;  $m^3/s$ ) y  $Q_{UC}$  el caudal disponible para usos consuntivos ( $m^3/s$ ) el cual es función de la oferta total de recursos hídricos superficiales y los DAA asignados a los usos consuntivos. El denominador ( $Q_T - Q_{UC}$ ) expresa el caudal remanente no asignado por DAA a otros usos y que puede ser utilizado para satisfacer las necesidades de subsistencia.

Por otra parte, la vulnerabilidad estará estimada mediante la siguiente expresión:

$$VS_{ASF} = \frac{HH_{ASF}}{(Q_{T85\%} - Q_{UC})} \times 100$$

donde  $VS_{ASF}$  corresponde a la vulnerabilidad del agua “azul” y “verde” consumida en un momento de tiempo en particular (estimada por intermedio de  $HH_{ASF}$ ) bajo condiciones de baja disponibilidad de agua (percentil 15),  $HH_{ASF}$  es la huella hídrica para las actividades de subsistencia familiar ( $m^3/s$ ),  $Q_{T85\%}$  corresponde a la oferta de agua (agua “azul” + agua “verde”) bajo condiciones de sequía o bajo caudal y/o baja humedad del suelo dada por el percentil 15 (disponibilidad que es excedida el 85% de las veces;  $m^3/s$ ) y  $Q_{UC}$  el caudal disponible para usos consuntivos ( $m^3/s$ ) bajo condiciones normales.  $Q_{T85\%}$  puede ser calculada utilizando series históricas o de proyecciones futuras, éstas últimas basadas en escenarios de cambio climático. De manera general y para ambos indicadores, un valor calculado  $> 100\%$  o una condición en la cual  $Q_T$  (o  $Q_{T85\%}$ ) =  $Q_{UC}$  (indeterminación del indicador) indica un escenario de *inseguridad* hídrica.



Por otro lado, para dar respuesta a la pregunta que da lugar a este indicador es necesario estimar la calidad del agua con la que las familias satisfacen sus requerimientos de agricultura de autoconsumo. En Chile existe la normativa que establece los requisitos de calidad de agua para diferentes usos (NCh 1333), entre ellos el agua utilizada para riego y el agua para bebida de animales, por lo que el proxy propuesto para esta variable corresponde al cumplimiento de los estándares nacionales de calidad de agua según el uso que se le otorgue y es calculado mediante el indicador de calidad de agua en la sub-dimensión “Control de la contaminación”.

ii. *Necesidades humanas básicas.*

Esta dimensión incluye los aspectos de la Seguridad Hídrica ligados a la satisfacción de las necesidades hídricas del ser humano, considerando principalmente el acceso a agua potable y saneamiento<sup>19</sup>, ambos críticos para la salud humana y condicionantes de los niveles de pobreza (Peña, 2016). La evaluación del estado de la Seguridad Hídrica asociado a esta sub-dimensión debe comprender indicadores que permitan conocer el nivel de satisfacción de las necesidades hídricas básicas de la población, siendo estas el agua potable para bebida, baño y alimentación. El índice de Seguridad Hídrica para esta dimensión estará compuesto por un indicador de escasez hídrica ( $S_{NHB}$ ), un indicador de vulnerabilidad ( $VS_{NHB}$ ), y un indicador de satisfacción de requerimientos mínimos de agua potable ( $PRM$ ).

Al respecto se tiene:

$$S_{NHB} = \frac{HH_{NHB}}{Disp} \times 100$$

donde  $S_{NHB}$  corresponde al indicador de escasez hídrica;  $HH_{NHB}$  es la huella hídrica (considera solo agua “azul”) de la sub-dimensión y  $Disp$  corresponde al recurso disponible para agua potable estimado como una proporción del agua físicamente disponible en la cuenca calculada en base a la cantidad de DAA asignados para este uso en relación al total de DAA entregados a nivel de cuenca en condiciones de sobre otorgamiento de DAA o bajo una condición de sequía en la cual la oferta de recursos hídricos (medida como la suma entre el caudal medio anual y la tasa de recarga media anual del acuífero) es menor a la demanda dada por los DAA otorgados. En el caso de una cuenca en que la oferta de agua dulce sea mayor a la demanda calculada en base a los DAA otorgados, la disponibilidad para el sector sanitario estará dada por la cantidad total de DAA otorgados a dicho sector expresado en m<sup>3</sup>/s. Un valor calculado > 100% indica un escenario de *inseguridad* hídrica.

Respecto al indicador de vulnerabilidad se tiene:

$$VS_{NHB} = \frac{HH_{NHB}}{Disp_{85\%}} \times 100$$

<sup>19</sup> El “saneamiento” es considerada una sub-dimensión de la Dimensión 4 “Control de los riesgos relacionados a eventos extremos y de contaminación”



Donde  $VS_{NHB}$  corresponde a la vulnerabilidad del agua “azul” consumida por el sector en un momento de tiempo dado (estimada por intermedio de  $HH_{NHB}$ ) bajo condiciones de baja disponibilidad de agua (percentil 15<sup>th</sup>),  $HH_{NHB}$  es la huella hídrica para el sector agua potable y  $Disp_{85\%}$  corresponde a la disponibilidad de agua (agua “azul”) bajo condiciones de sequía o bajo caudal medio anual o tasa de recarga media anual dada por el percentil 15<sup>th</sup> (disponibilidad que es excedida el 85% de las veces).  $Disp_{85\%}$  puede ser calculada utilizando series históricas o de proyecciones futuras, éstas últimas basadas en escenarios de cambio climático. Se considera una situación vulnerable cuando el indicador ( $VS_{NHB}$ ) es  $> 100\%$ .

Respecto a la satisfacción de requerimientos mínimos de agua potable se propone aplicar el indicador “Proporción de la población que potencialmente satisface sus requerimientos mínimos”. Este indicador aborda la satisfacción de los “requerimientos hídricos mínimos” de un ser humano, para lo cual se estima un volumen de agua diario mínimo para satisfacer todas las funciones y actividades básicas de la vida de una persona. Este volumen fue estimado por Gleick (1996), en consideración de 4 aspectos: agua potable, higiene (baño), saneamiento y preparación de alimentos. Al respecto, según este autor, un ser humano debe acceder a 50 litros de agua diaria mínima y de calidad, distribuida en 5 l/p/día de agua potable, 20 l/p/día para saneamiento, 15 l/p/día para un baño y 10l/p/día para preparación de alimentos. Esta estimación corresponde a un valor de referencia sobre el cual se construye el indicador propuesto.

$$PRM = \frac{HRM}{HT}$$

$$HRM = \frac{Di}{RMB}$$

donde  $PRM$  corresponde a la proporción de la población que potencialmente satisface sus requerimientos mínimos;  $HT$  es el número de habitantes del territorio;  $HRM$  es el número de habitantes que podría sostener el territorio;  $Di$  corresponde a la disponibilidad de agua potable diaria en el territorio; y  $RMB$  a los requerimientos mínimos básicos.

La información que nutre este indicador se obtiene del censo poblacional del Instituto Nacional de Estadísticas (INE), Catastro Público de Aguas, informes de las empresas sanitarias, y organizaciones de APR.

## **Dimensión 2. Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable**

Esta dimensión apunta al resguardo del recurso hídrico para su utilización en actividades productivas, principalmente de explotación de recursos naturales, las cuales sustentan la economía del país. Esta dimensión contempla 2 áreas de importancia i) satisfacción de necesidades de



actividades productivas extractivas de agua y ii) satisfacción de necesidades de actividades productivas no extractivas de agua.

*i. Satisfacción de necesidades de actividades productivas extractivas de agua*

Esta sub dimensión aborda la Seguridad Hídrica de las actividades productivas que hacen un uso consuntivo del recurso hídrico. Se incluyen dentro de esta sub-dimensión la actividad agrícola, industrial, minera, pecuaria y forestal. La evaluación del estado de la Seguridad Hídrica asociado a esta sub-dimensión debe comprender indicadores que permitan conocer el nivel de satisfacción de las necesidades hídricas de cada sector productivo extractivo, en calidad y cantidad.

El índice de Seguridad Hídrica para esta dimensión estará compuesto por un indicador de escasez hídrica ( $S_{APEA}$ ) y un indicador de vulnerabilidad ( $VS_{APEA}$ ). Al respecto, se tiene:

$$S_{APEA} = \frac{(HH_A + HH_M + HH_I + HH_F)}{(Dips_A + Disp_M + Disp_I + Disp_{AF})} \times 100$$

donde  $HH_A$ ,  $HH_M$ ,  $HH_I$  y  $HH_F$  corresponden a las huellas hídricas de los sectores agropecuario, minero, industrial y forestal, respectivamente.

La huella hídrica ( $HH$ ) de una actividad productiva particular ( $X$ ) es calculada como:

$$HH_X = HH_{X-AZUL} + HH_{X-VERDE} + HH_{X-GRIS}$$

donde  $HH_X$  corresponde a la  $HH$  de una actividad productiva que realiza uso consuntivo del agua ( $m^3/s$ ), y las  $HH_{X-AZUL}$ ,  $HH_{X-VERDE}$  y  $HH_{X-GRIS}$  corresponden a las  $HH$  azul, verde y gris, respectivamente, todas expresadas en  $m^3/s$ . De esta forma, las huellas hídricas de los distintos usos consuntivos están representadas por:

$$HH_A = HH_{A-AZUL} + HH_{A-VERDE} + HH_{A-GRIS}$$

$$HH_M = HH_{M-AZUL} + HH_{M-GRIS}$$

$$HH_I = HH_{I-AZUL} + HH_{I-GRIS}$$

$$HH_F = HH_{F-AZUL} + HH_{F-VERDE}$$



Para la estimación de las HH de cada uso productivo existen diversos proxy. En el caso de la actividad agrícola es posible aproximarse al valor de la  $HH_{A-AZUL}$  a través del cálculo de la demanda teórica de los cultivos teniendo datos climáticos, tipos de cultivos, coeficientes de cultivo, superficie cultivada, entre otros, o a través de la estimación de la demanda de agua por medio de los datos de producción anual agrícola por unidad de superficie. Este cálculo de la demanda por agua no debe considerar los caudales de retorno debido a las ineficiencias de conducción y aplicación del agua. La  $HH_{A-VERDE}$  se puede estimar de una manera similar, pero considerando sólo los cultivos de secano. Para obtener una aproximación a las  $HH_{M-AZUL}$  y  $HH_{I-AZUL}$  se podrían obtener las demandas de agua considerando las producciones anuales de cada sector, tomando en cuenta variables de producción, productividad (ej. tonelada producto por unidad de agua consumida (evaporada o adicionada al producto final), número de faenas o industrias, etc. Para el caso del sector forestal, se requiere estimar la HH, tanto para zonas de riego ( $HH_{F-AZUL}$ ) como para zonas de secano ( $HH_{F-VERDE}$ ). La aproximación al agua utilizada por las plantaciones forestales se puede realizar considerando la superficie, especies dominantes y valores estándar de requerimientos hídricos de las especies forestales (ej. tasas de evapotranspiración). La  $HH_{X-GRIS}$  (para cada uno de los usos) corresponderá a la cantidad de agua que se necesita para diluir algún contaminante y de esta forma cumplir la normativa vigente. La elección del contaminante a considerar se basará en aquel cuya demanda hídrica sea mayor, es decir, aquel que necesite mayor volumen de agua para ser diluido para cumplir la norma, y dependerá de la actividad productiva y de la zona de estudio, por lo que no necesariamente será el mismo elemento (ni la misma  $HH_{X-GRIS}$ ) para cada uno de los diferentes usos.

Por otro lado, las variables  $Disp_A$ ,  $Disp_M$ ,  $Disp_I$  y  $Disp_F$  corresponden a las disponibilidades de agua (agua azul + agua verde según corresponda) por sector (agropecuario, minería, industria y forestal, respectivamente) expresadas en  $m^3/s$ . El componente de agua azul de la variable Disponibilidad ( $Disp$ ) por sector corresponde a una proporción del agua físicamente disponible en la cuenca calculada en base a la cantidad de DAA asignados a cada uso en relación al total de DAA entregados a nivel de cuenca. Esta forma de cálculo sólo debería ser aplicada bajo el escenario en el cual la asignación de DAA sobrepase la disponibilidad física del recurso por cuenca. En caso contrario (donde la disponibilidad física de recursos hídricos es mayor a la cantidad de DAA ( $m^3/s$ ) asignados) la disponibilidad por sector será igual a la cantidad de DAA que potencialmente puede ser ejercida por dicho sector. Respecto al agua verde, su disponibilidad puede ser estimada mediante el uso de modelos de balance hídrico de libre acceso (ej. SWAT) tanto a escala mensual como anual (ej. Rodrigues et al. 2014; Veettil y Mishra 2016).

Se considera una situación de *inseguridad hídrica* cuando  $S_{APEA} > 100$ .

Para estimar la vulnerabilidad de la Seguridad Hídrica de la sub-dimensión satisfacción de necesidades de actividades productivas extractivas de agua se propone el siguiente indicador:

$$VS_{APEA} = \frac{HH_X}{Disp_{85\%}} \times 100$$



donde  $VS_{APEA}$  corresponde a la vulnerabilidad del agua necesaria para satisfacer la demanda de los usos productivos en un momento de tiempo en particular (estimada por la sumatoria de  $HH_{X-AZUL}$ ,  $HH_{X-APEA}$  y  $HH_{X-GRIS}$ ) bajo condiciones de baja disponibilidad de agua (percentil 15),  $HH_{X-AZUL}$  y  $HH_{X-GRIS}$  son las huellas hídricas azul y gris las cuales son estimadas a través de la sumatoria de las  $HH_{AZUL}$  y las  $HH_{GRIS}$ , respectivamente, de los sectores agropecuario, forestal, industrial y minero;  $HH_{X-VERDE}$  es la huella hídrica verde la cual es estimada a través de la sumatoria de las  $HH_{VERDE}$  de los sectores agropecuario y forestal.

$Disp_{85\%}$  corresponde a la disponibilidad de agua azul y verde bajo condiciones de sequía o bajo caudal o recarga dada por el percentil 15 (disponibilidad que es excedida el 85% de las veces).  $Disp_{85\%}$  puede ser calculada utilizando series históricas o de proyecciones futuras, éstas últimas basadas en escenarios de cambio climático. Se considera una situación vulnerable cuando el indicador  $VS_{APEA}$  es  $> 100$ .

ii. *Satisfacción de necesidades de actividades productivas no extractivas de agua*

Esta sub dimensión aborda las actividades productivas que realizan un uso no consuntivo de las aguas, dentro de las cuales se cuenta el turismo, la generación de hidroelectricidad y la acuicultura. La evaluación del estado de la Seguridad Hídrica asociado a esta sub-dimensión debe comprender indicadores que permitan conocer el nivel de satisfacción de las necesidades hídricas de cada sector productivo no extractivo.

Al respecto, y en relación al cálculo de la disponibilidad de agua para cada sector se tienen dos condiciones: i) condición en la cual un sector económico no cuenta con DAA asignados como el turismo y ii) condición en la cual un sector económico cuenta con DAA de carácter no consuntivo como el sector hidroeléctrico y la acuicultura. Tomando lo anteriormente expuesto la valoración de la Seguridad Hídrica para esta sub-dimensión considera la utilización de un indicador de escasez hídrica y un indicador de vulnerabilidad:

*Sector Hidroeléctrico.* La Seguridad Hídrica del sector hidroeléctrico es valorada mediante los siguientes indicadores:

$$S_H = \frac{Disp}{Q_T} \times 100$$

donde  $S_H$  corresponde al indicador de escasez hídrica el cual es calculado como la proporción entre la disponibilidad de agua asignada a la producción de hidroelectricidad a nivel de cuenca ( $Disp$ ;  $m^3/s$ ) y la oferta total de recursos hídricos ( $Q_T$ ) descrita como caudal medio anual de la cuenca ( $m^3/s$ ). Al ser un uso no consuntivo, se asume que, a escala de cuenca, al satisfacerse las necesidades del proyecto hidroeléctrico que posee la mayor cantidad de DAA asociados se satisfará el resto de los proyectos que demandan un menor caudal. Por lo tanto, el cálculo de  $Disp$  (a escala de cuenca)



será igual a la cantidad de DAA no consuntivos asociados al proyecto hidroeléctrico que posee mayor cantidad de DAA. Un valor > 100% describe un escenario de inseguridad hídrica.

Respecto al indicador de vulnerabilidad ( $VS_H$ ) se tiene:

$$VS_H = \frac{Disp}{Q_{T85\%}} \times 100$$

donde **Disp** corresponde al agua disponible asignada a la producción de hidroelectricidad a nivel de cuenca (**Disp**) y  $Q_{T85\%}$  corresponde a la disponibilidad de agua bajo condiciones de sequía o bajo caudal medio anual dada por el percentil 15<sup>th</sup> (disponibilidad que es excedida el 85% de las veces).

Los indicadores para el sector acuícola siguen la misma lógica que los propuestos para el sector hidroeléctrico, siendo Disp (a escala de cuenca) igual a la cantidad de DAA no consuntivos asociados al proyecto acuícola que posee mayor cantidad de DAA.

*Sector Turismo.* A diferencia de los sectores acuícola e hidroeléctrico, el turismo, en general, no posee DAA para asegurar la disponibilidad de agua para el desarrollo de sus actividades asociadas. Por tal motivo la disponibilidad de agua para este sector dependerá del agua disponible luego del consumo por parte de los usos extractivos. El indicador de escasez hídrica ( $S_T$ ) propuesto es:

$$S_T = \frac{Q_D}{(Q_T - Q_{UC})} \times 100$$

donde  $Q_D$  corresponde al agua demandada por las actividades turísticas a nivel de cuenca ( $m^3/s$ ),  $Q_T$  corresponde a la oferta total de recursos hídricos descrita por el caudal medio anual de la cuenca ( $m^3/s$ ) y  $Q_{UC}$  a la disponibilidad de agua superficial para los usos consuntivos a nivel de cuenca ( $m^3/s$ ), el cual es función de la oferta total de recursos hídricos superficiales y los DAA superficiales asignados a los usos consuntivos. El denominador ( $Q_T - Q_{UC}$ ) expresa el caudal remanente no asignado por DAA a otros usos y que puede ser utilizado para realizar actividades turísticas. Un valor calculado para el indicador > 100% o una condición en la cual  $Q_T = Q_{UC}$  (indeterminación del indicador) indica un escenario de *inseguridad* hídrica.

Respecto al indicador de vulnerabilidad ( $VS_T$ ), este es función de  $Q_D$  y de la diferencia entre  $Q_{T85\%}$  (disponibilidad que es excedida el 85% de las veces) y  $Q_{UC}$ :

$$VS_T = \frac{Q_D}{(Q_{T85\%} - Q_{UC})} \times 100$$



Un valor calculado > 100% o una condición en la cual  $Q_{T85} = Q_{UC}$  (indeterminación del indicador) indica un escenario de vulnerabilidad del sector y por lo tanto de inseguridad hídrica.

### **Dimensión 3. Cuerpos de agua en cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos**

Esta dimensión apunta al resguardo de la calidad y cantidad del recurso hídrico para garantizar la salud humana y del medioambiente así como para satisfacer las demandas hídricas por parte de la población y los diversos sectores productivos. Esta dimensión está asociada a dos componentes de importancia: i) protección y conservación de ecosistemas; y ii) control de contaminación.

#### *i. Protección y conservación de los ecosistemas.*

Esta sub-dimensión aborda los objetivos relacionados con las necesidades hídricas de los ecosistemas naturales, tanto terrestres como acuáticos, que permitan mantener sus procesos y funciones ecológicas fundamentales. Para el caso del presente estudio sólo se consideran las necesidades hídricas, en calidad y cantidad, demandadas por los ecosistemas acuáticos de agua dulce.

Un instrumento de gestión ambiental con respaldo legal en el país y que tiene como objetivo principal conservar los ecosistemas fluviales es el caudal ecológico. Este instrumento se materializa en fijar una cantidad mínima de agua que debe fluir en una determinada fuente superficial para mantener o asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático (Boettiger, 2013). En base a sus características generales (ver Boettiger 2013 y Reglamento para la Determinación del Caudal Ecológico Mínimo<sup>20</sup>) se propone utilizar este instrumento como variable descriptora de las demandas hídricas por parte de los ecosistemas y por ende como la fuente de información principal para la construcción de los indicadores para evaluar la Seguridad Hídrica en esta sub-dimensión. Tomando en cuenta lo anterior se proponen los respectivos indicadores de escasez hídrica ( $S_{PC}$ ) y vulnerabilidad ( $VS_{PC}$ ):

$$S_{PC} = \frac{Q_E}{(Q_T - Q_{UC})} \times 100$$

donde  $Q_E$  corresponde al caudal ecológico a nivel de cuenca ( $m^3/s$ ),  $Q_T$  corresponde a la oferta total de recursos hídricos descrita por el caudal medio anual de la cuenca ( $m^3/s$ ) y  $Q_{UC}$  a la disponibilidad de agua superficial para los usos consuntivos a nivel de cuenca ( $m^3/s$ ) la cual es función de la oferta total de recursos hídricos superficiales y los DAA superficiales asignados a los usos consuntivo. El denominador ( $Q_T - Q_{UC}$ ) expresa el caudal remanente para conservar los procesos ecosistémicos, es decir, el caudal que no ha sido asignado por DAA a otros usos. Al respecto, es importante señalar que en algunas cuencas del país (especialmente en macrozonas centro y norte) la cantidad de DAA

<sup>20</sup> Disponible en: [http://www.dga.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/Reglamento\\_Caudal\\_Ecologico.pdf](http://www.dga.cl/legislacionynormas/normas/Reglamentos/Reglamento_Caudal_Ecologico.pdf)



entregados a los diferentes usos impide, si estos se ejercen en su totalidad, la mantención de un caudal ecológico por lo que el indicador podría indeterminarse ( $Q_T = Q_{UC}$ ); estos casos indican que la disponibilidad de agua para los usos extractivos es igual a la oferta física del recurso hídrico dejando sin disponibilidad de agua a la protección de los ecosistemas acuáticos ( $Q_E$ ). Una condición de *inseguridad hídrica* para esta sub-dimensión se describe cuando  $S_{PC} > 100\%$  o ( $Q_T = Q_{UC}$ ).

Respecto al indicador de vulnerabilidad ( $VS_{PC}$ ), se propone un indicador basado en la satisfacción de las necesidades hídricas de los ecosistemas naturales acuáticos ( $Q_E$ ) respecto de la diferencia entre el caudal disponible que tiene una probabilidad del 85% de ser excedido ( $Q_{T85\%}$ ) y la disponibilidad de agua para los usos consuntivos ( $Q_{UC}$ ).

$$VS_{PC} = \frac{Q_E}{(Q_{T85\%} - Q_{UC})} \times 100$$

En relación a la calidad de agua, el proxy propuesto será aquel que deriva del indicador de Seguridad Hídrica de la sub-dimensión “Control de contaminación” considerando la norma secundaria de calidad de aguas y un contaminante tipo que demande el mayor caudal de dilución dentro de un conjunto de contaminantes comunes establecidos en las normas secundarias de calidad de agua.

ii. *Control de contaminación*

La propuesta para valorar el estado de Seguridad Hídrica para esta sub-dimensión se basa en la aplicación del concepto de huella gris ( $HH_G$ ), el cual es definido como el volumen de agua dulce requerido para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua esté sobre los estándares aceptables (Hoekstra et al. 2011). Al respecto, la pregunta a contestar mediante la aplicación del indicador a proponer es: ¿está la calidad del agua, a escala de cuenca, en un nivel que permita garantizar la salud humana, las diversas actividades económicas dependientes de recursos hídricos y el medioambiente? Para abordar esta pregunta es importante señalar que en Chile existen diversas normas que salvaguardan la calidad del agua en relación a sus diversos usos: Norma NCh1333.Of78 modificada en 1987 (“Requisitos de calidad de agua para diferentes usos”), Norma NCh409/1.Of. 84 (Agua Potable) y Normas Secundarias de Calidad de Agua. Por lo tanto, para la valoración de la calidad del agua a nivel de cuenca se deberá considerar la Norma más restrictiva actualmente en vigencia en la cuenca a evaluar, a no ser que se quiera valorar específicamente la calidad del agua para un uso particular lo cual demanda la aplicación de la Norma específica para dicho caso.

El índice de Seguridad Hídrica para esta sub-dimensión estará compuesto por un indicador de escasez hídrica ( $S_{CC}$ ), y un indicador de vulnerabilidad ( $VS_{CC}$ ). Al respecto, se tiene:



$$S_{CC} = \frac{HH_G}{(Q_T - Q_{UC})} \times 100$$

donde  $HH_G$  ( $m^3/s$ ) corresponde a la huella gris calculada para la norma de calidad de agua más exigente,  $Q_T$  corresponde a la oferta total de recursos hídricos descrita por el caudal medio anual de la cuenca ( $m^3/s$ ) y  $Q_{UC}$  a la disponibilidad de agua para los usos consuntivos a nivel de cuenca la cual es función de la oferta total de recursos hídricos superficiales y los DAA superficiales asignados a los usos consuntivo.

El indicador de vulnerabilidad ( $VS_{CC}$ ) es:

$$VS_{CC} = \frac{HH_G}{(Q_{T85\%} - Q_{UC})} \times 100$$

donde  $HH_G$  corresponde a la huella gris y  $Q_{T85\%}$  corresponde a la oferta total de recursos hídricos por el caudal medio anual de la cuenca ( $m^3/s$ ) bajo condiciones de sequía o bajo caudal dado por percentil 15<sup>th</sup> (disponibilidad que es excedida el 85% de las veces).

Es importante señalar que para valorar la Seguridad Hídrica a nivel de cuenca, el cálculo de la oferta total de recursos hídricos sólo considera el caudal medio anual por cuenca, lo que pasa por alto la capacidad de dilución de embalses, lagos, lagunas y acuíferos. Pese a lo anterior, los indicadores propuestos para esta dimensión son absolutamente aplicables a otras escalas de análisis como a nivel de lago o tramo de río.

#### **Dimensión 4. Reducción de los riesgos relacionados a eventos extremos**

Esta dimensión apunta a la reducción de riesgos relacionados a eventos extremos, tales como la sequía, inundaciones, aluviones y aludes y adicionalmente el riesgo a la contaminación de las aguas. Esta dimensión contempla 3 áreas de importancia i) sequía; ii) exceso de agua; y iii) saneamiento.

##### *i. Sequía*

El indicador propuesto en este componente debe permitir medir los objetivos de Seguridad Hídrica que se deben alcanzar para aumentar la resiliencia de la población frente a eventos extremos de sequías respondiendo a la siguiente pregunta ¿Qué tan vulnerable es la cuenca ante los eventos de sequía? Para estimar la vulnerabilidad de una comunidad a la sequía se propone seguir una aproximación que permita evaluar la vulnerabilidad de la población a la sequía en distintos ámbitos mediante los siguientes proxy:

- a) *Fracción de la población que no es abastecida de agua potable ( $H_{NAS}$ )*. Se propone estimar la cantidad de habitantes que no poseen sistemas de aprovisionamiento de agua para bebida o uso doméstico y que se abastecen de manera particular. Para estimar este proxy se



considerará aquella fracción de la población rural que no es abastecida de agua por algún APR (considerando que la población urbana está cubierta casi en su totalidad por alguna empresa sanitaria). Con este proxy se asume que los habitantes que se autoabastecen de agua son más susceptibles a la sequía ya que son independientes, no pertenecen a alguna organización que facilite la obtención de recursos para poder mejorar su infraestructura (profundizar pozos, cambiar bombas, por ejemplo) y no poseen sistemas de acumulación que les de autonomía ante eventos de esta índole.

Este proxy permite tener una noción del nivel de inseguridad en el suministro de agua para bebida. De este modo se tiene que:

$$H_{NAS} = \frac{(H_R - H_{APR})}{H_R}$$

donde  $H_{NAS}$  corresponde a la fracción de la población que no es abastecida de agua potable y que se asume que se abastece de manera particular;  $H_R$  es el número de habitantes rurales de la cuenca y  $H_{APR}$  corresponde a la población que actualmente está siendo abastecida por APR.

- b) *Agua almacenada para riego ( $S_{ALM}$ )*. En la agricultura de riego, la utilización de embalses hace posible manejar el agua y planificar la actividad para darle mayor seguridad a la agricultura (Aldunce y González, 2009). Si bien, los efectos de una sequía prolongada podrían sentirse incluso con la existencia de embalses, este proxy daría una noción de cuán preparada podría estar una cuenca para enfrentar un evento como ese. Dado lo anterior, el proxy de agua almacenada para riego ( $S_{ALM}$ ) se expresa como la capacidad de almacenamiento de agua para riego de una cuenca ( $C_{ALM}$ ) respecto a la superficie agrícola regada por aguas superficiales ( $S_{AAS}$ ):

$$S_{ALM} = \frac{C_{ALM}}{S_{AAS}}$$

- c) *Proporción de agricultura de secano ( $P_{ASEC}$ )*. En la agricultura de secano, que depende de las precipitaciones y no de embalses, “el impacto de las sequía es directo e inmediato” y es en donde se presentan los primeros cambios, provocando pérdidas o limitando su capacidad de siembra (Aldunce y González, 2009). Es por este motivo que es importante conocer qué proporción del área cultivada corresponde a agricultura de secano. El proxy propuesto para esto estima la superficie de área agrícola de secano ( $S_{ASEC}$ ) respecto de la superficie cultivada



total ( $S_A$ ), como indicador de que tan susceptible es la actividad agrícola a los efectos de la sequía en una cuenca:

$$P_{ASEC} = \frac{S_{ASEC}}{S_A}$$

- d) *Índices de precipitación estandarizado (IPE) y de caudales estandarizados (ICE)*. Ambos índices indican el número de desviaciones estándar, respecto de la media, de la precipitación caída o del caudal, respectivamente, durante un período dado. Estos índices cuantifican el déficit o superávit de precipitación o de caudal en diferentes periodos de tiempo, lo que “refleja el impacto de la sequía en la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos” (Organización Meteorológica Mundial, 2012). Ambos se calculan de la misma forma y una de las maneras de hacerlo es utilizando un programa gratuito elaborado por The National Drought Mitigation Center del Departamento de Meteorología Agrícola de la Universidad de Nebraska-Lincoln<sup>21</sup>. Es importante comentar que la DGA utiliza estos índices para la declaración de extraordinaria sequía (resolución DGA N° 1.674, de 12 de junio de 2012<sup>22</sup>)

Una vez obtenido estos índices es necesario conocer la probabilidad de ocurrencia del nivel de sequía obtenido para cada índice. Por ejemplo, a continuación se muestra la propuesta de DICTUC (2009) de clasificación de sequía y probabilidad de ocurrencia para Chile (Cuadro 5):

**Cuadro 5. Clasificación de sequía y probabilidad de ocurrencia acumulada según valor de ICE o IPE propuesta para Chile por DICTUC (2009).**

Valores ICE o IPE	Probabilidad de ocurrencia acumulada	Clasificación de sequía
≤ -2,05	0,020	Extremadamente seco
-2,05 a -1,28	0,080	Muy seco
-1,28 a -0,84	0,100	Seco
-0,84 a 0,84	0,600	Normal

Fuente: Adaptado de DICTUC, 2009

Una vez que calculados cada uno de los proxy ( $H_{NAS}$ ,  $S_{ALM}$  y  $P_{Asec}$ ) es necesario categorizarlos e integrarlos con los índices *IPE* e *ICE* para obtener un valor representativo de la sub-dimensión. Es muy relevante integrar los proxy considerando el valor de los índices de sequía, pues estos últimos darán el contexto climático del lugar donde se está haciendo la evaluación. (Para mayor detalle sobre la integración de los indicadores a nivel de sub-dimensión ver el apartado Índice de Seguridad Hídrica).

<sup>21</sup> Es posible encontrar el resultado de estos índices para Chile en la Biblioteca de Datos Climáticos (<http://www.climatedatalibrary.cl/>) y en el Explorador Climático (<http://explorador.cr2.cl/>)

<sup>22</sup> “Deja sin efecto resolución DGA N° 39, de 9 de Febrero de 1984 y establece nuevos criterios para calificar épocas de extraordinaria sequía”.



Los proxy e índices propuestos permitirían tener una aproximación sobre cuán vulnerable es la población a eventos de sequía desde el punto de vista de la seguridad de agua para consumo humano, actividades productivas fuertemente dependientes del agua y el estado del sistema.

ii. *Excesos de agua*

Esta sub-dimensión describe los objetivos de Seguridad Hídrica que deben lograrse para aumentar la resiliencia de la población frente a eventos extremos relacionados con el exceso del agua tales como inundaciones, aludes y aluviones. El indicador deberá responder a la pregunta ¿Cuál es el nivel de exposición y susceptibilidad que presenta un territorio frente a eventos extremos, del tipo exceso de agua?

Medir indicadores a través de la cobertura espacial y la población beneficiada tanto por acciones gubernamentales como privadas generadas para disminuir los riesgos son complicados de aplicar debido a la dificultad de obtener una estimación de la población y superficie que está expuesta a eventos extremos. Por lo tanto, para esta sub-dimensión se consideró que evaluar las medidas estructurales (obras de control), no estructurales (medidas de prevención) y el impacto del desastre (pérdidas) pueden otorgar un buen acercamiento al nivel de exposición y susceptibilidad frente a los excesos de agua y a las medidas para reducir el riesgo de inundación que posee un territorio.

Los proxy propuestos para esta sub-dimensión son los siguientes:

- a) *Infraestructura para el control de excesos de agua (IC<sub>ea</sub>)*. Si bien, el número de obras existente no implica directamente una reducción efectiva de riesgos, si puede ser indicativo del nivel de preparación para la mitigación (tanto en severidad como en frecuencia) de eventos de esta índole. El proxy propuesto para esto corresponde al número de obras de contención, estabilización de cauces, control de la erosión, conducción de flujos, etc. ( $N_{oc}$ ) por superficie de la cuenca ( $S_c$ ):

$$IC_{ea} = \frac{N_{oc}}{S_c}$$

Un mayor número de infraestructura supone una mayor protección de la población, de la infraestructura pública y de los sectores productivos frente a los excesos de agua.

- b) *Sistemas de prevención de excesos de agua (SP<sub>ea</sub>)*. Contar con sistemas de pronósticos y de alerta temprana para eventos extremos relacionados al agua permite a la población estar mejor preparada y tomar medidas anticipadas ante la ocurrencia de dichos eventos. Como proxy para evaluar el nivel de prevención que posee un área se propone estimar el número de estaciones de monitoreo hidrometeorológicas y sedimentológicas ( $EM_{hs}$ ) por superficie de la cuenca ( $S_c$ ).



$$SP_{ea} = \frac{EM_{HS}}{S_C}$$

Se asume que contar con una red de estaciones de medición más densa permitirá tener un mejor sistema de alerta temprana y, por ende, una mejor coordinación y respuesta para enfrentar y evitar pérdidas por inundaciones.

- c) *Impacto económico debido a excesos de agua (IE<sub>ea</sub>)*. Este proxy otorga una aproximación del impacto que tienen los eventos de inundaciones, aludes y aluviones en la economía de un territorio o cuenca y de los efectos que pudiera tener post desastre (pérdidas en bienes, disminución de la producción y prestación de servicios, disminución del crecimiento, etc.). Asimismo, da cuenta de la dificultad que podría tener un territorio para afrontar las pérdidas o para llevar a cabo la reposición de servicios y la reconstrucción después del evento. Para evaluar este proxy se propone estimar las pérdidas económicas generadas por inundaciones, aludes y aluviones (*PE<sub>ea</sub>*) respecto al Producto Interno Bruto del territorio o cuenca (*PIB<sub>a</sub>*):

$$IE_{ea} = \frac{PE_{ea}}{PIB_a}$$

Cuanto mayor son las pérdidas respecto al PIB del territorio, menor será la capacidad para afrontar las pérdidas post desastre.

- d) *Índices de precipitación estandarizado (IPE) y de caudales estandarizados (ICE)*. Al igual que en el caso de las sequías, se propone la utilización del *IPE* e *ICE* para obtener la probabilidad de ocurrencia del nivel de humedad obtenido para cada índice (Cuadro 6). Este índice será utilizado en este caso como un proxy de la probabilidad de ocurrencia de excesos de agua.

**Cuadro 6. Clasificación de humedad y probabilidad de ocurrencia acumulada según valor de ICE o IPE propuesta para Chile por DICTUC (2009).**

Valores ICE o IPE	Probabilidad de ocurrencia acumulada	Clasificación de humedad
-0,84 a 0,84	0,600	Normal
0,84 a 1,28	0,100	Húmedo
1,28 a 2,05	0,080	Muy húmedo
≥ 2,05	0,020	Extremadamente húmedo

Fuente: Adaptado de DICTUC, 2009



De la misma manera que se propone para la sub-dimensión de sequía, los proxy propuestos para los excesos de agua ( $IC_{ea}$ ,  $SP_{ea}$  y  $IE_{ea}$ ) se deben categorizar e integrar con los índices  $IPE$  e  $ICE$  para obtener un valor de la sub-dimensión de excesos. Es muy relevante integrar los proxy considerando el valor de los índices, pues estos últimos darán el contexto climático del lugar donde se está haciendo la evaluación. (Para mayor detalle sobre la integración de los indicadores a nivel de sub-dimensión ver el apartado Índice de Seguridad Hídrica).

Los proxy e índices propuestos se enfocan en el control, prevención, efectos y la susceptibilidad a la ocurrencia de un evento extremo del tipo exceso de agua, evaluando a través de la infraestructura existente, el monitoreo y las pérdidas económicas la preparación de la población y las ciudades ante la probabilidad de que ocurra un evento de este tipo.

Los cuatro proxy a analizar permiten aproximarse al nivel de vulnerabilidad de la población ante un evento del tipo aluvión, inundación o alud.

### iii. Saneamiento

Esta sub-dimensión describe la situación del tratamiento de aguas servidas domiciliarias tanto de origen urbano como rural, desde el punto de vista del riesgo de la contaminación como una amenaza para la seguridad hídrica. A pesar de que en Chile el tratamiento de las aguas servidas domiciliarias de origen urbano alcanza un nivel de cobertura superior al 99%, todavía existe una brecha en el control de este factor en zonas rurales. Para estimar cuán susceptible es una cuenca a la contaminación por aguas servidas domiciliarias rurales o urbanas, se propone el siguiente indicador:

$$PNTAS = \frac{HT - HT_{TAS}}{HT}$$

Donde  $PNTAS$  corresponde a la proporción de la población rural/urbana que no cuenta con cobertura de tratamiento de aguas servidas domiciliarias;  $HT$  son los habitantes del territorio y  $HT_{TAS}$  son los habitantes que cuentan con cobertura de tratamiento de aguas servidas domiciliarias. Con este indicador se asume que entre mayor es la proporción de población que no cuenta con tratamiento de aguas servidas, mayor es el riesgo de que se contaminen las aguas.

## 2) Índice de Seguridad Hídrica por sub-dimensión

Cada sub-dimensión de Seguridad Hídrica es valorada mediante un índice el cual se construye integrando información proveniente del conjunto de indicadores propuestos en las secciones anteriores.

De manera particular, el índice de Seguridad Hídrica ( $SH_{sd}$ ) para las sub-dimensiones 1 y 3 se compone del indicador de escasez hídrica ( $S$ ) y el indicador de vulnerabilidad hídrica ( $VS$ ). De manera genérica su notación es la siguiente:



$$SH_{SD} = S \mid VS$$

Para el caso de la sub-dimensión 2 el índice de Seguridad Hídrica ( $SH_{SD}$ ) se compone de un índice de escasez hídrica compuesto ( $S_c$ ) y un índice de vulnerabilidad hídrica compuesto ( $VS_c$ ) que integran la información de todos los indicadores de escasez ( $S$ ) y de vulnerabilidad ( $VS$ ) respectivamente asociados a cada componente de la sub-dimensión. Por ejemplo para una cuenca determinada, la sub-dimensión “Satisfacción de necesidades de actividades productivas extractivas de agua” puede tener dos subcomponentes: minería y agricultura. En este caso  $S_c$  se construye integrando la información de los índices de escasez hídrica calculados para la agricultura ( $S_{agricultura}$ ) y minería ( $S_{minería}$ ) tal como se muestra en la (Figura 7). Misma lógica se sigue para calcular  $VS_c$ . Su notación es la siguiente:

$$SH_{SD(2)} = S_c \mid VS_c$$

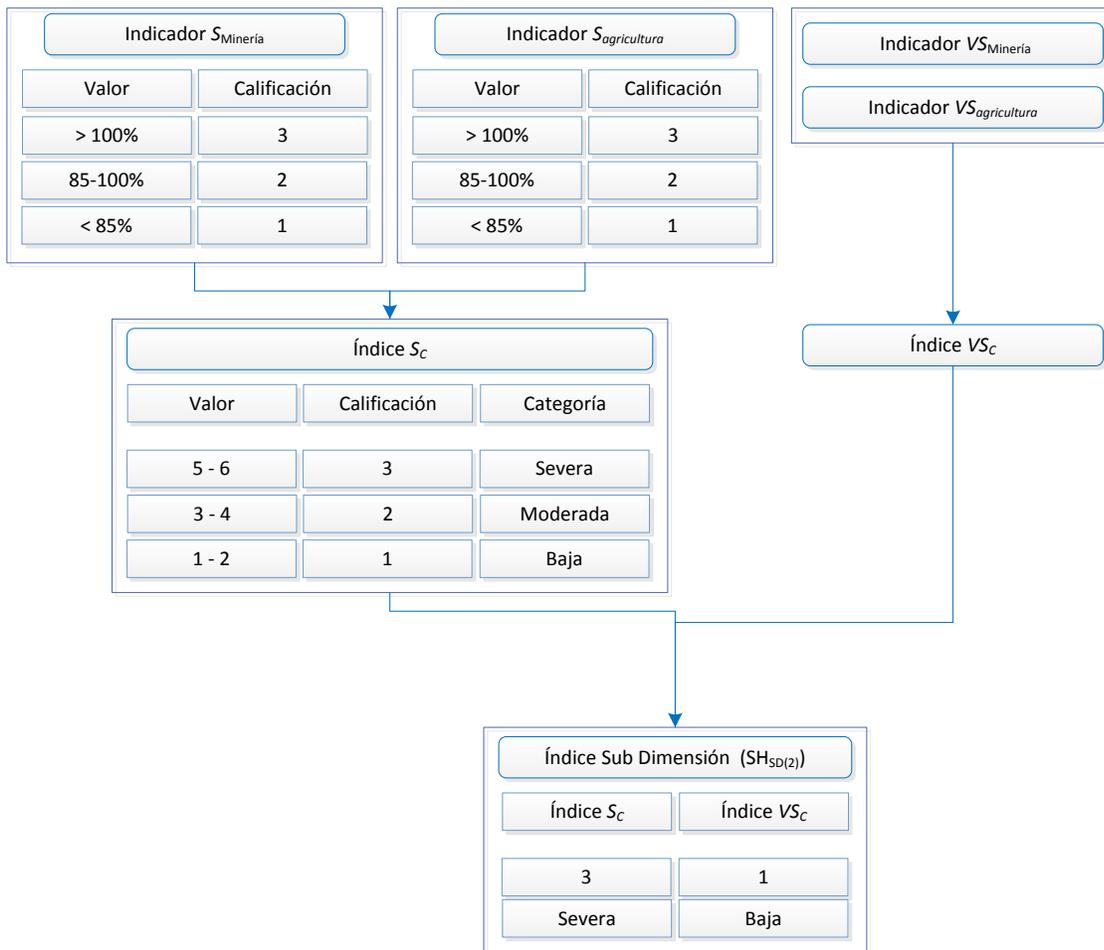


Figura 7. Método de evaluación del estado de Seguridad Hídrica para la Sub-dimensión 2. Rangos son arbitrarios y están establecidos a modo de ejemplo. Fuente: Elaboración propia



Para las sub-dimensiones de la Dimensión 4 el índice de Seguridad Hídrica ( $SH_{SD}$ ) se obtendrá a partir de la categorización y posterior integración todos los proxy de los indicadores de las sub-dimensiones de sequía y excesos ( $H_{NAS}$ ,  $S_{ALM}$ ,  $P_{Asec}$  y  $IC_{ea}$ ,  $SP_{ea}$  y  $IE_{ea}$ , respectivamente) y por otro lado de la integración de los valores del  $IPE$  e  $ICE$  para cada una de estas sub-dimensiones por separado. Luego se integrará el valor obtenido para los proxy junto con el valor de la integración de los índices  $IPE$  e  $ICE$  para obtener un único valor para las sub-dimensiones de sequía y excesos (ver ejemplo en la Figura 8). Es muy relevante integrar los proxy considerando el valor de los índices  $IPE$  e  $ICE$ , pues estos últimos darán el contexto climático del lugar donde se está haciendo la evaluación. Por su parte, la sub-dimensión saneamiento otorgará un valor directo calculado desde el indicador  $PNTAS$ . La notación del índice de Seguridad Hídrica para la sub-dimensiones de la Dimensión 4 es la siguiente:

$$SH_{SD(4)} = S_R$$

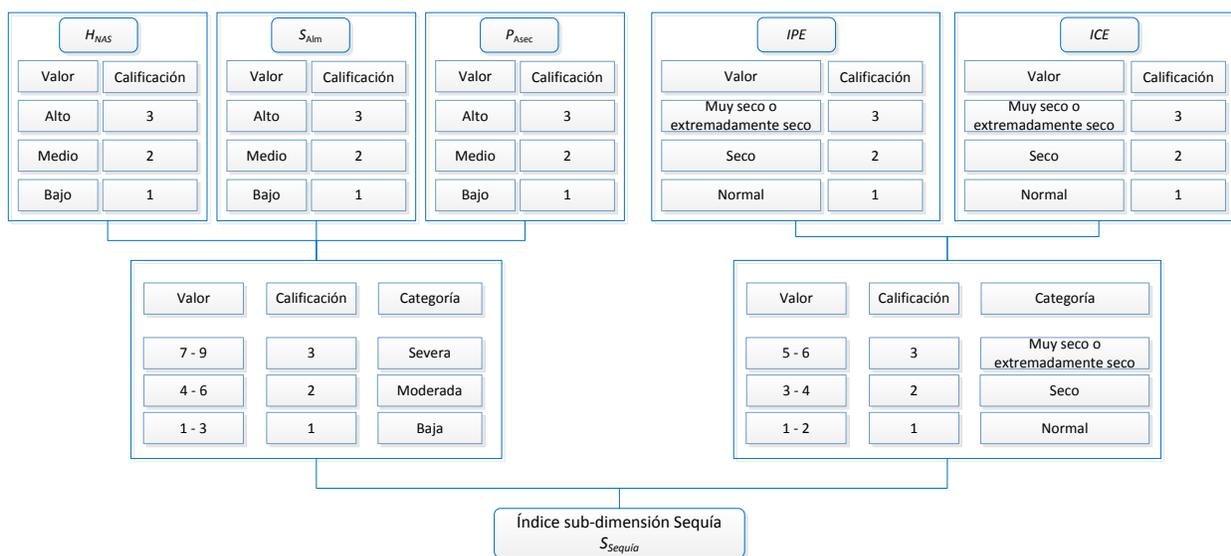


Figura 8. Método de integración de los valores de los proxy e índices de la sub-dimensión sequía de la Dimensión 4. Rangos son arbitrarios y están establecidos a modo de ejemplo. Fuente: Elaboración propia

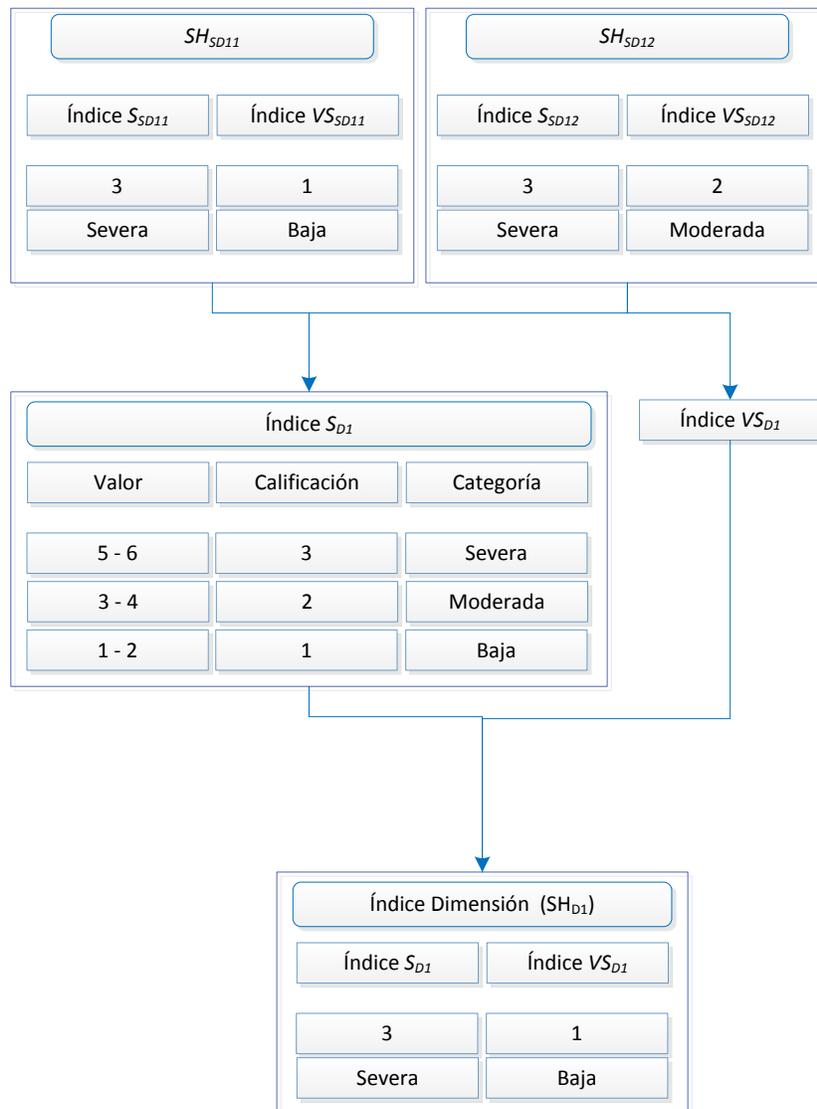
#### ii) Valoración del estado de Seguridad Hídrica a nivel de dimensión

La información asociada a cada índice por sub-dimensión es integrada para construir el índice que describirá el estado de una dimensión de Seguridad Hídrica en un momento de tiempo determinado. Al igual que para el caso de cada sub-dimensión, el índice para cada dimensión es expresado mediante una escala ordinal usando un rango de calificación por ejemplo de entre 1 y 3 (Figura 9).

De manera particular para el caso de las dimensiones 1, 2 y 3, el índice de Seguridad Hídrica ( $SH_D$ ) se compone de un índice de escasez hídrica compuesto ( $S_D$ ) y un índice de vulnerabilidad hídrica compuesto ( $VS_D$ ) que integran la información de todos los indicadores de escasez ( $S$  para el caso de dimensiones 1 y 3;  $S_c$  para el caso de las dimensión 3) y de vulnerabilidad ( $VS$  para el caso de dimensiones 1 y 3;  $VS_c$  para el caso de las dimensión 3) respectivamente. Por ejemplo para una cuenca determinada, la dimensión 1 se compone de dos sub-dimensiones: "Actividades de

*subsistencia familiar (SD<sub>11</sub>)* y *“Necesidades humanas básicas (SD<sub>12</sub>)”*. En este caso **S<sub>D</sub>** se construye integrando la información de los índices de escasez hídrica calculados para cada sub-dimensión (**S<sub>SD11</sub>** y **S<sub>SD12</sub>**) tal como se muestra en la (Figura 9). Misma lógica se aplica para **VS<sub>D</sub>**. Su notación es la siguiente:

$$SH_D = S_D \mid VS_D$$



**Figura 9. Método de evaluación del estado de Seguridad Hídrica a nivel de Dimensión. Rangos son arbitrarios y están establecidos a modo de ejemplo. Fuente: Elaboración propia**

Para la Dimensión 4 el índice de Seguridad Hídrica (**SH<sub>D</sub>**) se compone de un índice de reducción de riesgos integrado por los índices de las sub-dimensiones sequía, excesos y saneamiento (**S<sub>R</sub>**).



$$SH_{SD(4)} = D_4$$

**iii) Valoración del estado global de Seguridad Hídrica**

El estado de Seguridad Hídrica global de una cuenca es valorado por medio de dos índices. El primer índice sigue la misma lógica aplicada a nivel de dimensión y sub-dimensión y queda representado de la siguiente manera:

$$SH_G = S_G | VS_G | D_4$$

donde **SH<sub>G</sub>** es el índice de Seguridad Hídrica global de la cuenca, **S<sub>G</sub>** y **VS<sub>G</sub>** son los índices de escasez y vulnerabilidad global compuesto respectivamente y que integran la información de **S<sub>D</sub>** y **VS<sub>D</sub>** de las dimensiones 1,2 y 3 y **D<sub>4</sub>** corresponde al índice de Seguridad Hídrica de la Dimensión 4 (Figura 10). Este índice permite inferir el estado de Seguridad Hídrica de una cuenca entregando información sobre el estado promedio de satisfacción de necesidades por recursos hídricos en términos de calidad y cantidad de los diferentes usos y su vulnerabilidad promedio frente a una situación de baja oferta hídrica. Además de manera independiente entrega información respecto al estado de Seguridad Hídrica de la Dimensión 4 la cual no describe el estado de un sector determinado en relación a la satisfacción de sus demandas hídricas.

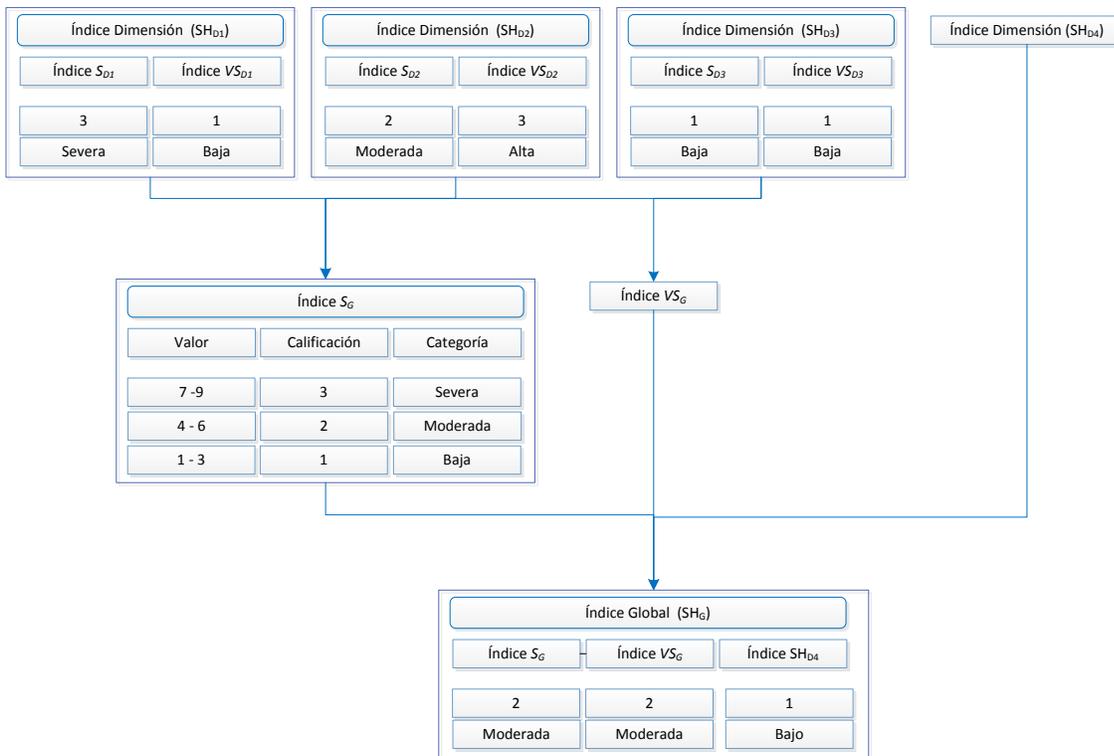


Figura 10. Método de evaluación del estado de Seguridad Hídrica a nivel global. Rangos son arbitrarios y están establecidos a modo de ejemplo Fuente: Elaboración propia



El segundo índice se construye mediante la integración de  $S_G$ ,  $VS_G$  y  $D4$  en un índice único con el objetivo de realizar comparaciones entre cuenca. La lógica de cálculo se muestra en el Cuadro 7.

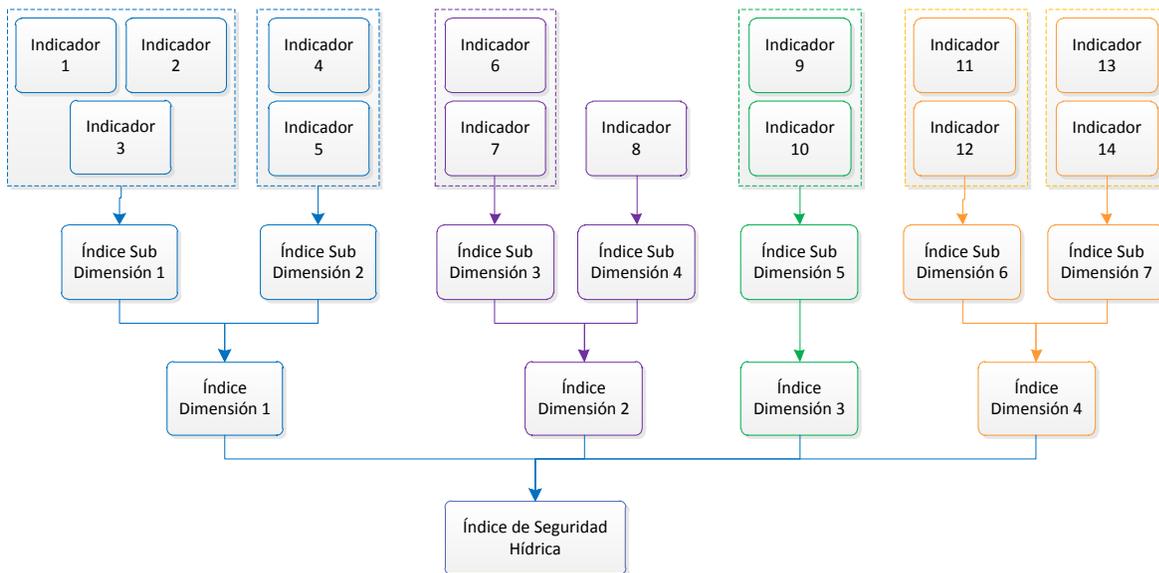
**Cuadro 7. Evaluación del estado de Seguridad Hídrica con índice único a nivel global.**

Cuenca	$S_G$	$VS_G$	$D4$	Total	Índice	
					Valor	Categoría
Cuenca 1	1	3	3	7	2.33	Moderada
Cuenca 2	3	3	3	9	3.00	Moderada
Cuenca 3	2	2	1	5	1.66	Alta
....						

Rango valor	Categoría
5-6	Baja
3-4	Moderada
1-2	Alta

Fuente: Elaboración propia

La Figura 11 muestra un esquema simplificado del enfoque metodológico antes descrito el cual será aplicado para determinar indicadores e índices de Seguridad Hídrica:



**Figura 11. Estructura general del marco metodológico propuesto para la determinación de indicadores de Seguridad Hídrica para Chile. Fuente: Elaboración propia**

### VII.2.B. Consideraciones finales

Como fue descrito al inicio del presente capítulo, los indicadores son la herramienta metodológica más utilizada para valorar la Seguridad Hídrica en todas sus dimensiones principalmente porque a través de ellos es posible sintetizar y simplificar grandes cantidades de información compleja con el objeto de hacerlas fácilmente entendibles y utilizables por los diferentes tomadores de decisiones, actores clave y usuarios del agua. Sin embargo, una de las principales características de los



indicadores es que estos son **estáticos** (describen el estado de la Seguridad Hídrica en un momento determinado) lo que impide proyectar riesgos y/o estados en el futuro. Al respecto, el evaluar los riesgos que implica el deterioro de la cantidad y calidad de los recursos hídricos en el mediano y largo plazo es un elemento prioritario para efectos de **lograr y mantener** un status determinado de Seguridad Hídrica en el tiempo. En general, en la presente propuesta de indicadores se incluye un indicador de escasez hídrica el cual tiene como objetivo valorar el estado de la Seguridad Hídrica en un momento de tiempo dado en términos de la satisfacción de necesidades por cantidad de agua (indicador estático) y un indicador de vulnerabilidad hídrica el cual tiene como objetivo entregar información sobre la susceptibilidad del uso del agua en un momento determinado frente a una condición de escasez. Aunque esta condición de escasez puede ser estimada en un horizonte de tiempo futuro en función de los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero, su inclusión dentro del índice de vulnerabilidad no necesariamente implica que se está valorando el nivel de riesgo al cual está sujeta la mantención de la Seguridad Hídrica en una dimensión determinada. En efecto, el riesgo que implica el deterioro de la cantidad y calidad de los recursos hídricos sobre una dimensión estará dado por una conjunción de factores que estarán relacionados, entre otros, con las proyecciones en la matriz productiva de una cuenca, el tipo de gobernanza y gestión que se espera desarrollar, las condiciones climáticas esperadas y desarrollo tecnológico y demográfico de la cuenca; en otras palabras se deberá considerar al menos todos los factores reconocidos como condicionantes de la Seguridad Hídrica mostrados en el capítulo 3 del presente estudio.

Por lo tanto, para una correcta valoración de la Seguridad Hídrica en el país será necesario implementar de manera integral: i) un sistema que permita evaluar el estado de las diferentes dimensiones y sub-dimensiones de Seguridad Hídrica en un momento determinado a través de un conjunto de indicadores e índices; ii) un sistema de evaluación de riesgos que permita evaluar los impactos sobre cada dimensión y o sub-dimensión de Seguridad Hídrica producto de cambios proyectados en el mediano y largo plazo en los sistemas políticos, económicos, sociales y climáticos.

En otro ámbito, a pesar de que la utilización de la huella hídrica como parámetro clave para la estimación de la Seguridad Hídrica de las sub-dimensiones que incluyen los usos consuntivos de agua radica en su relativa simplicidad de cálculo y fácil interpretación (ver Hoekstra et al. (2012) quienes calcularon la HH azul para las cuencas de los ríos Rapel, Bio Bio, Huasco, Limarí y Loa), se considera importante bajo una condición en que su aplicación sea dificultosa por falta de información, proponer un proxy adecuado que permita estimar la condición de Seguridad Hídrica para dichas sub dimensiones. Al respecto, una aproximación más simple al consumo de agua por parte de los diferentes usos consuntivos a nivel de cuenca es el índice de escasez hídrica propuesto por Smakhtin et al. (2004), el cual ha sido aplicado en Chile por Aitken et al. (2016) para estimar la escasez hídrica entre la I y VI regiones del país. Este índice, a diferencia del propuesto en el presente estudio como indicador de Seguridad Hídrica, considera las demandas por agua en reemplazo de la HH como numerador en el cálculo de la escasez. Al respecto, la información de las demandas por uso están siendo actualizadas por DGA y pueden ser proyectadas en función de diferentes escenarios de desarrollo. Además, para todas las actividades existe la posibilidad de realizar un cálculo indirecto de las demandas considerando coeficientes de uso de agua (ej. Tabla de Equivalencias entre Caudales de Agua y Usos publicadas en Decreto 743 del Ministerio de Obras Públicas). Sin embargo, y tal como fue reconocido al inicio del presente capítulo, la utilización de las demandas para estimar el consumo total de agua en una cuenca (entendido como el agua que es evaporada, transpirada y/o



asimilada en el producto final de algún proceso productivo) induce a sobreestimar la escasez hídrica al no considerar los caudales de retorno que se producen por la ineficiencias en el uso del recurso los cuales pueden ser potencialmente aprovechados por otros sectores.



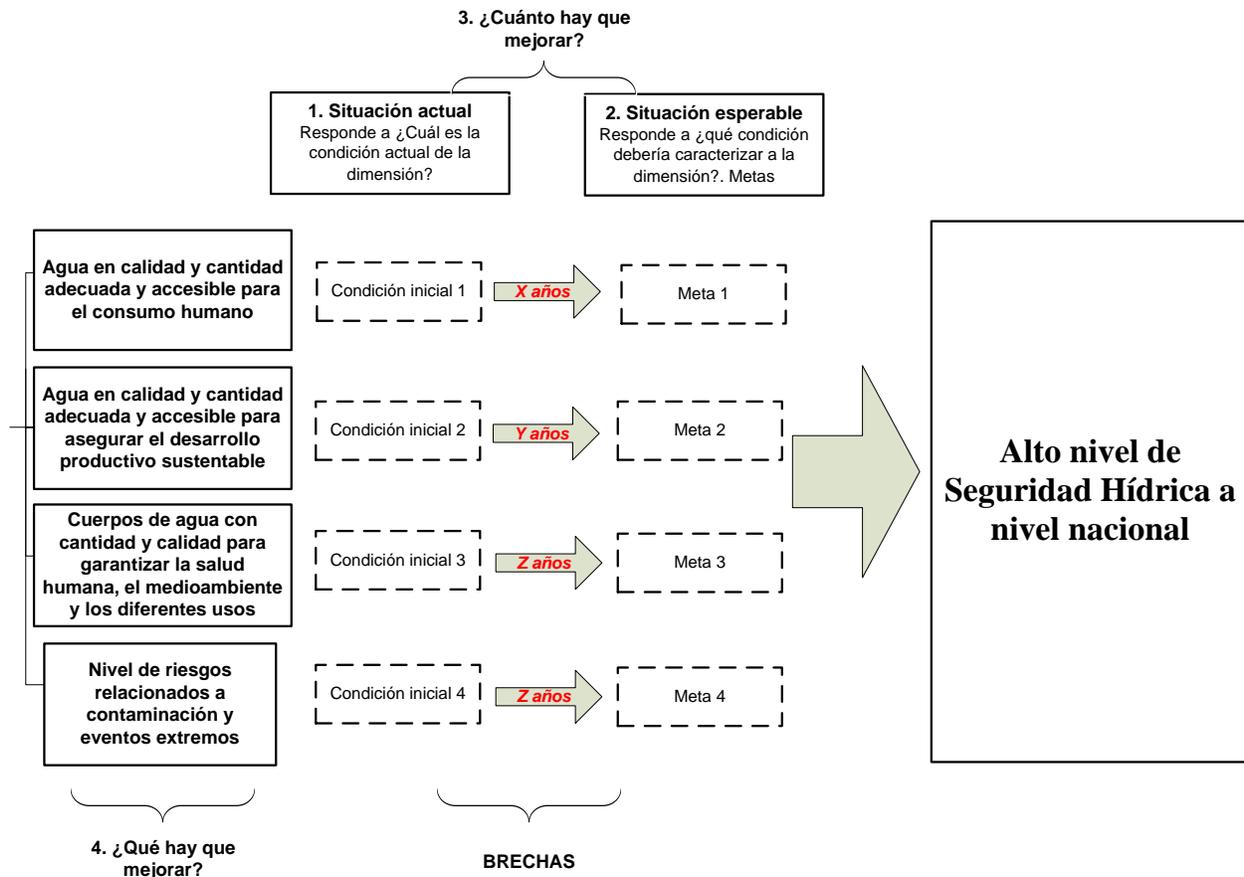
## VIII. ANÁLISIS DE BRECHAS DE SEGURIDAD HÍDRICA

### VIII.1. Metodología

Un análisis de brechas o gaps analysis es una herramienta que permite identificar los vacíos existentes respecto a las áreas o dimensiones que se relacionan, en el presente caso, con la Seguridad Hídrica Nacional entre la condición actual de éstas y una condición esperable. Se entiende que estas áreas o dimensiones son lo suficientemente relevantes o claves para afectar la seguridad hídrica del país bajo un escenario de cambio climático. En concordancia con lo anterior, en el presente estudio las brechas a identificar serán las que corresponden a los vacíos existentes en estas áreas que impiden disminuir la vulnerabilidad de los recursos hídricos por efecto del cambio climático y por ende aumentar la seguridad hídrica nacional.

En particular el análisis de brechas se desarrollará respondiendo las tradicionales preguntas que se encuentran implícitas en esta herramienta de análisis y estarán en función de las opciones de adaptación al cambio climático que deben cumplirse para lograr una condición de alta Seguridad Hídrica: a) ¿Cuál es la situación actual que caracteriza al país respecto a la Seguridad Hídrica (realidad actual)?; b) ¿Qué nivel de Seguridad Hídrica debería caracterizar al país? (referente a la meta esperable); c) ¿Cuán lejos está el país de cumplir el nivel de Seguridad Hídrica esperable? (referido a las brechas). La Figura 12, muestra un diagrama con los principales componentes del análisis de identificación de brechas en relación a las dimensiones que describen la Seguridad Hídrica:





**Figura 12. Diagrama con los principales componentes de un análisis de identificación de brechas. Fuente: Elaboración propia.**

En resumen, este análisis permitirá conocer restricciones generales y específicas, facilitará la identificación de diferencias entre el actual desempeño en términos de Seguridad Hídrica entre diferentes zonas del país o entre el país y las regiones o países considerados como referentes a nivel internacional lo que aporta antecedentes sobre requerimientos futuros que deberá enfrentar Chile.

En términos metodológicos, la identificación de las brechas se hará en función del análisis de los factores condicionantes expuestos en la sección III.2.C, factores que explican el estado de la Seguridad Hídrica, es decir, el valor que toma el índice de Seguridad hídrica puede explicarse por las brechas identificadas por cada factor condicionante. Es relevante destacar que la batería de indicadores propuestos en la sección anterior, solo permite evidenciar el estado de las dimensiones y sub-dimensiones de Seguridad Hídrica, sin embargo no logran explicarlo. En este contexto, es que no se justifica la utilización de dichos indicadores para la identificación de las brechas debido a que estos no permiten discriminar el motivo por el cual no se alcanza el estado deseado de Seguridad Hídrica.

En concordancia con lo anterior, la identificación y descripción de las brechas se realizará por factor condicionante, explicitando macrozonas en que se presenta y dimensión que probablemente se afecta en mayor medida. Las brechas que no se asocian directamente a algún factor condicionante se considerarán una brecha transversal.



Para la evaluación de brechas se definirá preliminarmente el escenario deseado, el cual corresponderá a un nivel de referencia definido como ideal en diferentes experiencias, nacionales e internacionales. El presente análisis corresponde a un análisis general de las brechas de Seguridad Hídrica, el cual se podrá mejorar con la definición de metas a nivel de cuenca, macrozona y país.

## VIII.2. Resultados

En la presente sección se exponen las brechas de Seguridad Hídrica, las cuales son presentadas por factor condicionante. Adicionalmente se incluyen dos categorías, las brechas informativas y las transversales.

### VIII.2.A. Gobernanza del agua

Entre las brechas asociadas a la gobernanza del agua (Cuadro 8) destacan la carencia de instancias de diálogo vinculantes, el bajo nivel de constitución de organizaciones de usuarios de agua y la no incorporación de todos los actores a estas instancias.

La existencia de la figura del DAA condiciona la gestión del recurso y la gobernanza, existiendo diversas realidades a lo largo del país, asociado principalmente a la participación y a la toma de decisiones, elementos que determinan la dinámica social y administrativa del recurso hídrico. Este elemento es uno de los más importantes y el que presenta mayores brechas, debido a que el logro de la meta requiere el avance hacia un modelo inclusivo, policéntrico y adaptativo, escenario muy distante a la realidad actual.

**Cuadro 8. Brechas identificadas asociadas a la gobernanza del agua. D1: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano; D2: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable; D3: Cuerpos de agua con cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos; D4: nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos.**

Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectada en mayor medida	Macrozonas
Gobernanza adaptativa y policéntrica instaurada y en funcionamiento	Carencia de instancias de diálogo vinculante	D1, D2, D3, D4	Nacional
	Baja transparencia dentro y entre sectores productivos	D1, D2	Sin información
	Déficit en la constitución de Organizaciones de usuarios de Agua (MOP, 2012)	D1, D2	
	Insuficiente nivel de organizativo y de gestión de los usuarios de agua	D1, D2, D3, D4	Nacional
	Escasa capacidad técnica de organizaciones de usuarios, organizaciones de APR e instancias de gobernanzas	D1, D2, D3, D4	Nacional



Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectada en mayor medida	Macrozonas
	Ausencia de actores relevantes en instancias de gestión a nivel de cuenca (OUA) (MOP, 2012)	D1, D2, D3, D4	Nacional

Fuente: Elaboración propia.

### VIII.2.B. Gestión del agua

El factor condicionante “Gestión del Agua” es el que presenta mayor número de brechas (Cuadro 9), debido a que la gestión comprende diversos componentes, como lo es la administración, acciones en los distintos sectores productivos, la tecnología, fiscalización, normativa, entre otros.

En la Dimensión 1 relativa a “Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano” se identifican brechas relativas a la cobertura de agua potable en el sector rural, la cual alcanza el 80% de la población rural (Homsí, 2016). Esta población corresponde principalmente a localidades desconcentradas, por lo cual los costos de abastecimiento son más altos, costos que gran parte de las organizaciones de APR no pueden financiar (Villarreal, 2011).

En la Dimensión 2 “Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable” destacan brechas relativas a la eficiencia en el uso del recurso en los distintos procesos productivos, y la gestión del recurso en consideración de la fuerte competencia por este.

En la Dimensión 3 “Cuerpos de agua con cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medio ambiente y los diferentes usos” y la Dimensión 4 “Nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos” se identifican brechas de gestión que se relacionan con la contaminación, el control de los efluentes domiciliarios e industriales, y la fiscalización.



**Cuadro 9. Brechas identificadas para la Gestión del Agua. D1: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano; D2: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable; D3: Cuerpos de agua con cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos; D4: nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos.**

Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectada en mayor medida	Macrozonas	Observación o justificación
Gestión integrada del recurso hídrico implementada	Población de localidades rurales desconcentradas sin servicios de agua potable	D1	Nacional	Porcentaje de cobertura de abastecimiento de comunidades rurales semiconcentradas asciende al 2%. La población de las comunidades semi concentradas asciende a 195.000 (MOP, 2012).
	Disparidad de servicio, infraestructura, y monitoreo en organizaciones de APR lo que repercute en la calidad del agua potable abastecida	D1	Nacional	Condicionado por recursos económicos y capacitación, entre otros, de las organizaciones
	Bajo porcentaje de cobertura del servicio de saneamiento y tratamiento en APR concentrados	D1, D3, D4	Nacional	Tratamiento terciario de aguas servidas de 20% aprox. de la población al año 2011 (OCDE, 2016)
	Escasa implementación de gestión conjunta entre agua subterránea y superficial	D1, D2, D3, D4	Nacional	
	Carencia de gestión de aguas a nivel de cuenca o unidad territorial mayor que permita disminuir los conflictos	D1, D2, D3	Nacional	Esta brecha se relaciona con el factor condicionante gestión de agua
	Débiles sistemas de gestión de las aguas a nivel de cuenca	D1, D2, D3, D4	Nacional	
	Déficit de fiscalización y monitoreo de usuarios, asociado a escasos recursos financieros	D1, D2, D3, D4	Nacional	
	Disgregación de competencias relativas al recurso hídrico en el sector público (Banco mundial, 2013).	D1, D2, D3, D4	Nacional	



Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectada en mayor medida	Macrozonas	Observación o justificación
	Ausencia del componente de riesgo en la gestión	D1, D2, D3, D4	Nacional	La OCDE recomienda la adopción de un enfoque de gestión basado en los riesgos (OCDE, 2016)
	Déficit en tecnificación del riego (OCDE,2016)	D2	Norte, centro y algunas regiones de la macrozona sur	“La mayoría de las zonas de riego (72%) utilizan técnicas relativamente antiguas, que resultan poco eficientes” (OCDE, 2016)
	Déficit de modernización de tecnologías y optimización del uso a través de equipos y procesos para la eficiencia energética e hídrica en la producción agrícola, minera e industrial (Santis, 2016; MOP, 2012)	D2	Nacional	En un escenario de cambio climático, se espera que los procesos productivos de las diferentes actividades del país inviertan en tecnología acorde a la situación actual y proyectada (Santis, 2016).
	Escasa utilización de aguas recicladas, debido a impedimentos legales y sociales	D1, D2, D3, D4	Nacional	Conflicto relativo a la dualidad del derecho el cual es consuntivo, pero al ser tratadas las aguas presenta características de no consuntivo. Este tratamiento es pagado por los clientes sanitarios por ende los beneficios de su uso posterior debiesen ser transferidos a estos a través de la tarifa
	Baja efectividad de sistemas de drenaje	D4	Nacional	
	Ausencia de instrumentos vinculantes de ordenamiento territorial a nivel de cuenca	D4	Nacional	Los planes reguladores comunales e interurbanos existentes no cubren toda la superficie de la cuenca, existiendo áreas sin regulación de este tipo, las cuales se acogen a las leyes del área de



Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectada en mayor medida	Macrozonas	Observación o justificación
				intervención correspondiente (Centro de Energía, 2016).
	Escasa interconexión, planificación y diseño entre proyectos, usos, etc.	D1, D2, D3, D4	Nacional	Las diversas intervenciones del territorio pueden incrementar la vulnerabilidad de asentamientos y actividades productivos, y por ende el riesgo
	Escasa infraestructura de contención	D4	Sin información	

Fuente: Elaboración propia.

### VIII.2.C. Conservación de servicios ecosistémicos

En el factor condicionante “Conservación de servicios ecosistémicos” se identificaron brechas relacionadas a las normas secundaria de calidad de aguas, los planes de prevención y descontaminación, manejo de la contaminación y caudal ecológico (Cuadro 10).

**Cuadro 10. Brechas identificadas para el factor conservación de servicios ecosistémicos. D1: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano; D2: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable; D3: Cuerpos de agua con cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos; D4: nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos.**

Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectada en mayor medida	Macrozonas	Observación o justificación
Protección y conservación a nivel nacional, regional y local de los servicios ecosistémicos.	Escaso manejo de contaminantes y pasivos ambientales en agricultura (MOP, 2012)	D3	Nacional	
	Disminuir los riesgos de contaminación de las aguas por parte de sector industrial y minero (MOP, 2012)	D3, D4	Nacional	Escaso tratamiento de aguas residuales del sector industrial, el cual asciende a 36%. Las escorrentías agrícolas han provocado eutrofización de los cuerpos de agua (OCDE,2016)



Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectada en mayor medida	Macrozonas	Observación o justificación
	Inexistencia de caudal ecológico adecuado	D3	Norte y centro	
	Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas superficiales	D1, D2, D3, D4	Nacional	No todas las cuencas del país cuentan con norma de calidad de aguas. A la fecha sólo las cuencas o cuerpos de agua con norma secundaria vigente son: Lago Llanquihue, Lago Villarrica, Río Biobío, Río Valdivia, Río Serrano y Río Maipo; en elaboración se encuentra la norma secundaria del Río Aconcagua, Río Mataquito, Río Elqui, Río Rapel y Río Huasco. El Ministerio de Medio Ambiente reconoce el retraso. Se expone que no es posible dictar normas en ausencia de un sistema eficiente de monitoreo y de análisis de los datos de calidad de aguas (Banco Mundial, 2013).
	Ausencia de norma secundaria de calidad de aguas subterráneas (OCDE, 2016)	D1, D2, D3, D4	Nacional	Con excepción de los acuíferos que son utilizados para el abastecimiento de agua potable (OCDE, 2016)
	“Carencia de conocimientos y métodos de implementación de soluciones basadas en ecosistemas para adaptarse al cambio climático” (Santis, 2016)	D1, D2, D3, D4	Nacional	
	Déficit de Planes de Prevención y Descontaminación (Banco Mundial, 2013)	D1, D2, D3, D4	Nacional	Previa fijación de normas primarias y/o secundarias de calidad y sustentado por un sistema eficiente de monitoreo (Banco Mundial, 2013)

Fuente: Elaboración propia



### VIII.2.D. Escenarios de desarrollo

Los escenarios de desarrollo corresponden al último factor condicionante, estos corresponden a decisiones políticas y sectoriales, por ende no es factible plantear un escenario deseado o meta. Si bien se conoce la política energética y de recursos hídricos y las modificaciones propuestas al Código de Aguas, los posibles escenarios son inmanejables. Por esta razón, en el presente estudio, no se identificaron brechas asociadas al factor condicionante “Escenarios de desarrollo”.

### VIII.2.E. Brechas informativas

Las brechas informativas son transversales a los factores condicionantes, y relevantes para alcanzar la Seguridad Hídrica a nivel país y a nivel de dimensión. Como se ha expuestos en los informes del Banco Mundial y el informe de desempeño ambiental, la información es esencial para mejorar las condiciones hídricas, existiendo una mayor relación con el factor condicionante Gestión del agua. A continuación en el Cuadro 11 se exponen las brechas informativas, exponiendo la dimensión que probablemente se ve afectada en mayor medida y la macrozona en la cual se presenta.

**Cuadro 11. Brechas identificadas en el ámbito de la información. D1: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano; D2: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable; D3: Cuerpos de agua con cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos; D4: nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos.**

Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectaba en mayor medida	Macrozonas	Observación o justificación
Base datos unificada de información de DAA, consumos, extracciones, entre otros.  Sociedad informada respecto a políticas, desafíos, proyecciones, entre otros.	Insuficiente información respecto a disponibilidad de agua en acuíferos	D1, D2, D4	Nacional, mayor urgencia en norte y centro	-
	Déficit de red hidrométrica operativa y consolidada	D1, D2, D4	Nacional	
	Desconocimiento de Titulares de DAA	D1, D2, D4	Nacional	-
	Déficit de estaciones y metodologías de muestreo de calidad de aguas	D1, D2, D3, D4	Nacional	Ausencia de un sistema eficiente de monitoreo y de análisis de los datos de calidad de aguas (Banco Mundial, 2013).
	Brecha informativa en cuanto a los consumos reales de cada sector, esto impide el cálculo de	D1, D2, D3, D4	Nacional	



Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectaba en mayor medida	Macrozonas	Observación o justificación
	la Huella Hídrica			
	Bajo nivel de integración de datos e información proveniente del sector público y privado	D1, D2, D3, D4	Nacional	
	Carencia de sistema único de información a nivel nacional	D1, D2, D3, D4	Nacional	
	Carencia de protocolo de validación de información proveniente de distintas fuentes, ya sea público o privado	D1, D2, D3, D4	Nacional	
	Bajo nivel de transferencia, difusión de la información científica generada (AdaptChile, s.a.)	D1, D2, D3, D4	Nacional	

Fuente: elaboración propia.

#### VIII.2.F. Brechas Transversales

Finalmente, se identificaron brechas relacionadas con la institucionalidad, las capacidades y el financiamiento asociado al Cambio climático. Estas brechas son asimilables a la Seguridad Hídrica, y se asociaban, principalmente, a los factores condicionantes de Gestión del Agua y Gobernanza. La superación de las brechas expuestas en el Cuadro 12 contribuyen al logro de la Seguridad Hídrica en diferentes escalas, ya sea nivel de dimensión, sub - dimensión, nacional o local.



**Cuadro 12. Brechas transversales relacionadas con el Cambio Climático. D1: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano; D2: Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable; D3: Cuerpos de agua con cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos; D4: nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos.**

Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectaba en mayor medida	Macrozonas	Observación o justificación
<p>Institucionalidad fortalecida y adecuada a los desafíos que impone el Cambio climático.</p> <p>Dotación de profesionales capacitados y de usuarios de agua y actores sociales capacitados y empoderados</p> <p>Coordinación y retroalimentación continua entre Academia y Sector público.</p>	<p>Ausencia de institucionalidad adecuada que se haga cargo de los distintos ámbitos de trabajo del cambio climático (mitigación, adaptación, reportes, inventarios, negociación internacional) (Santis, 2016)</p>	D1, D2, D3, D4	Nacional	
	<p>Ausencia de marco legal permanente que establezca responsabilidades y competencias de los actores involucrados (Santis, 2016).</p>	D1, D2, D3, D4	Nacional	
	<p>Escaso financiamiento para fortalecer el desarrollo de acciones sectoriales de mitigación y los sistemas de medición, reporte y verificación (Santis, 2016).</p>	D1, D2, D3, D4	Nacional	Existen barreras a la recepción de recursos financieros internacionales y a la destinación de presupuesto en los servicios públicos debido a que el cambio climático no está explicitado en la Ley Orgánica (Santis, 2016)
	<p>Déficit de profesionales con capacidades técnicas</p>	D1, D2, D3, D4	Nacional	Existen avances en cuanto a los profesionales parte del Sistema Nacional de Inventarios de Gases de efecto Invernadero, pero



Meta	Brechas identificadas	Dimensión que se ve afectaba en mayor medida	Macrozonas	Observación o justificación
				aún faltan profesionales para abordar ámbitos de Cambio Climático (Santis, 2016).
	Ausencia de una coordinación interinstitucional adecuada para el desarrollo de las distintas líneas de trabajo en Cambio climático (Santis, 2016).	D1, D2, D3, D4	Nacional	No existe coordinación de iniciativas y de presupuestos
	Ausencia de coordinación y comunicación políticas públicas e investigación científica relacionada con el cambio climático	D1, D2, D3, D4	Nacional	Dentro de los obstaculizadores esta asimetrías y fallas de información, poca exigibilidad de simplificar contenidos, difícil sincronización entre tiempos políticos y técnicos, falla de coordinación entre quién financia y quien genera la política pública, exigencia de publicar en medios de renombre mundial, investigación no orientada a las necesidades de políticas públicas y prejuicios hacia la esfera científica (Bórquez, 2011; AdapChile, s.a.)

Fuente: elaboración propia.



## IX. LINEAMIENTOS DE ACCIÓN PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

### IX.1. Metodología

La definición de los lineamientos de acción para la adaptación al cambio climático se realizó a través del análisis de las brechas expuestas en la sección anterior. Se propone un objetivo general y una serie de objetivos específicos, los cuales rigen las líneas de acción.

### IX.2. Resultados

El objetivo general propuesto para el futuro Plan de Adaptación al Cambio climático para los recursos hídricos es el siguiente:

*“Fortalecer la capacidad de adaptación del país a los escenarios futuros y desafíos que impone el Cambio climático en la gestión del Recurso Hídrico con el fin de satisfacer las necesidades hídricas de la población, las actividades productivas y el medio ambiente; y disminuir la vulnerabilidad y el riesgo a la contaminación y eventos extremos”.*

El objetivo general apunta al logro de la Seguridad Hídrica en un contexto de Cambio Climático. En este sentido, la Seguridad Hídrica se logrará siempre y cuando la sociedad civil, instituciones, organizaciones, sector privado y Academia logran adaptarse a los desafíos y trabajar en conjunto para la disminución de la vulnerabilidad y el avance hacia un mejor nivel de calidad de vida y Seguridad Hídrica.

A continuación se detallan los objetivos específicos propuestos para el Plan de Adaptación y que están en función de las brechas identificadas en la capítulo precedente:

- *Objetivo específico 1. Desarrollo de programa que permita el aumento de la cobertura de abastecimiento y tratamientos de aguas servidas, y la mantención de los servicios en un contexto de Cambio climático*
- *Objetivo específico 2. Fortalecimiento de la gobernanza a nivel local y de cuencas e incorporación de una gestión de aguas inclusiva e integrada.*
- *Objetivo específico 3. Investigación y desarrollo para enfrentar riesgos asociados a la contaminación y eventos extremos*
- *Objetivo específico 4. Protección de ecosistemas y servicios que estos proveen*
- *Objetivo específico 5: Fortalecimiento de la institucionalidad actual, enfocada en la generación de capital humano, el aumento de dotación para la implementación de medidas y la reestructuración institucional pública para el Cambio Climático.*
- *Objetivo específico 6. Creación de un sistema único de información de las aguas y fortalecimiento de la red medición de calidad y cantidad*

A continuación se exponen las líneas de acción por objetivo específico:



### **1. Objetivo específico 1. Desarrollo de programa que permita el aumento de la cobertura de abastecimiento y tratamientos de aguas servidas, y la mantención de los servicios en un contexto de Cambio climático**

#### Líneas estratégicas

- L1. Desarrollo de instrumento que permita el aumento de la cobertura de abastecimiento de agua potable rural en comunidades rurales semiconcentradas.
- L2. Capacitación a organizaciones de APR para la incorporación de tratamiento de aguas dentro de los servicios entregados.
- L3. Generación de un programa que apoye a organizaciones de APR a adaptarse a las condiciones que impone el cambio climático.

### **2. Objetivo específico 2. Fortalecimiento de la gobernanza a nivel local y de cuencas e incorporación de una gestión de aguas inclusiva e integrada**

#### Líneas estratégicas

- L1. Promover la conformación de organizaciones de usuarios de agua y la incorporación de usuarios no consuntivos.
- L2. Promover la conformación de mesas de diálogo para la gestión a nivel de cuenca con participación de todos los usuarios de aguas (consuntivos y no consuntivos)
- L3. Fomentar la gestión conjunta a nivel de cuencas
- L4. Fortalecimiento de sistemas de gestión a través de capacitaciones y entrega de herramientas de gestión adecuada a la realidad territorial y social de cada organización.
- L5. Incorporación de riesgo en la gestión de las aguas.

### **3. Objetivo específico 3. Investigación y desarrollo para enfrentar riesgos asociados a la contaminación y eventos extremos**

#### Líneas estratégicas

- L1. Promoción de investigación y desarrollo de tecnologías que permitan aumentar la eficiencia de los sectores productivos.
- L2. Aumentar la oferta de recursos hídricos a través de la incorporación de tecnología
- L3. Abordar las barreras que obstaculizan y/o generan conflictos a la utilización de aguas recicladas.



- L4. Fomentar la coordinación de actividades productivas y asentamientos a nivel territorial con el fin de evitar intensificación de efectos adversos y aumento de los riesgos.
- L5. Generación y transferencia de herramientas que faciliten la toma de decisiones con soporte de información y conocimiento actualizado y adecuado a la escala territorial.

#### **4. Objetivo específico 4. Protección de ecosistemas y servicios que estos proveen**

Líneas estratégicas

- L1. Instaurar mecanismos que permitan resguardar el caudal ecológico
- L2. Controlar y fiscalizar la contaminación en el sector agrícola y disminuir los riesgos de contaminación del sector minero e industrial
- L3. Generación de Normas secundarias de calidad de aguas y planes de prevención y descontaminación

#### **5. Objetivo específico 5: Fortalecimiento de la institucionalidad actual, enfocada en la generación de capital humano, el aumento de dotación para la implementación de medidas y la reestructuración institucional pública para el Cambio Climático.**

Líneas estratégicas

- L1. Fortalecimiento de la institucionalidad ambiental para la adopción de medidas de adaptación y mitigación
- L2. Promover la capacitación de profesionales del sector público relacionados con el Cambio climático
- L3. Evaluar el aumento de la dotación de profesionales para abordar las medidas que nacen del trabajo en la línea del Cambio climático

#### **6. Objetivo específico 6. Creación de un sistema único de información de las aguas y fortalecimiento de la red medición de calidad y cantidad**

Líneas estratégicas

- L1. Creación de un sistema único de información de las aguas, en donde se alberguen datos públicos y privados de calidad, consumos, DAA, disponibilidades, entre otros.
- L2. Difusión y capacitación de sistema de información a servicios públicos y sector privado
- L3. Incorporación de nuevas estaciones fluviométricas, pluviométricas y de calidad, con el fin de robustecer la red hidrométrica



- L4. Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de calidad que permita agilizar la definición de normas secundarias de calidad



## X. VINCULACIÓN CON SERVICIOS PÚBLICOS

La vinculación con los servicios públicos identificados para participar en el presente estudio por sus competencias en la temática de recursos hídricos fueron, principalmente unidades y/o departamentos y/o divisiones de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) y de la Dirección General de Aguas (DGA). En el Cuadro 13 se expone el listado de profesionales que participaron en la Etapa 1 de este estudio.

A todos los profesionales indicados en el Cuadro 13 se les invitó a participar a través de una carta formal enviada a sus correos electrónicos. A partir de esto se concertó una reunión de trabajo para abordar la conceptualización de Seguridad Hídrica. En estas instancias se hizo una presentación de conceptualización del estudio y por medio de una entrevista semi estructurada se discutió respecto de la propuesta presentada y las dimensiones consideradas.

### X.1. Concepto de Seguridad Hídrica en Chile.

Durante el mes de octubre se solicitó entrevista con profesionales ya mencionados. El objetivo de esta actividad fue recoger las impresiones y/o observaciones sobre una propuesta de concepto de Seguridad Hídrica.

**Cuadro 13. Entrevistas realizadas**

Unidad o Departamento	Profesionales presentes	Fecha de entrevista
División de Estudios y Planificación	Andrea Osses Gustavo Calle Nicolás Ureta Paul Dourojeanni	12 de octubre, 15:00 hrs.
Unidad de Organizaciones de Usuarios y Eficiencia Hídrica	Ernesto Schulbach Cesar Caneleo	14 de octubre, 9:00 hrs.
Departamento de Administración de Recursos Hídricos	Carlos Flores	14 de octubre, 11:00 hrs.
Superintendencia de Servicios Sanitarios	Marta Sepúlveda	20 de octubre, 11:30 hrs.
Dirección Regional de Aguas	Carmen Herrera Alberto Calatroni Doris Aguilar Roberto Barrera	21 de octubre, 15:00 hrs.
División de Hidrología	Brahim Nazarala Javier Narbona Naranjo	28 de octubre, 11:00 hrs.

Se realizaron 6 reuniones de trabajo, abarcando a 14 profesionales (Cuadro 13). En estas se recogió información valiosa respecto a la definición y las dimensiones de Seguridad Hídrica propuestas. Se destacó que la propuesta de concepto presentada sería apropiada, pero teniendo en cuenta una serie de aspectos de contexto y preocupaciones nacionales. Entre estos aspectos se destaca:



- Considerar el contexto nacional, en cuanto a la figura de Derecho de Aprovechamiento de Aguas (DAA).
- Considerar la reacción en torno a eventos extremos.
- Incluir dentro de los eventos extremos, la turbiedad de las aguas consecuencia de pluviosidad con temperaturas templadas.
- Priorización del consumo humano.
- El concepto debe ser implementado en cada territorio, en este se debe definir los niveles “aceptables” y “adecuados”.

Respecto a las dimensiones se destaca:

- Incluir el saneamiento en las dimensiones, específicamente en la dimensión que abarca el acceso al agua potable.
- Analizar si el saneamiento es un aspecto transversal o debe incluirse en una determinada dimensión.
- Ausencia de temporalidad
- Incluir la reacción frente a eventos extremos
- Priorización del consumo humano
- Incluir dentro de la dimensión de riesgos a la contaminación

Como se observa el trabajo con los profesionales de los servicios públicos permitió enriquecer la propuesta original pues se pudo recoger aspectos centrales para cada unidad y departamento. Sin embargo, el concepto será validado durante la segunda etapa del estudio, momento en el que se convocarán a los profesionales ya entrevistados y a aquellos que por disponibilidad de tiempo no pudieron participar en esta primera ronda de entrevistas.

Finalmente, en el Anexo 3, es posible observar las minutas de las entrevistas.

## X.2. Taller de validación de concepto de Seguridad Hídrica y enfoque metodológico de indicadores

El 18 de noviembre de 2016 se realizó el taller de validación de la definición de Seguridad Hídrica y del enfoque metodológico de indicadores con profesionales del Ministerio de Obras Públicas y del Ministerio del Medio Ambiente. El objetivo de esta actividad fue validar el concepto ya trabajado con los profesionales y, exponer y recoger observaciones sobre el enfoque metodológico que se espera seguir para la definición de los indicadores de Seguridad Hídrica.

**Cuadro 14. Asistentes al taller**

Unidad, división o departamento	Profesionales presentes
División de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas	Andrea Osses Nicolás Ureta
Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas	Enrique Gallardo Z.
Unidad de Innovación de Recursos Hídricos, Dirección de	María Carolina Mombiela



Unidad, división o departamento	Profesionales presentes
Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas	
Departamento de Cambio Climático, Ministerio del Medio Ambiente	Gladys Santis
Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas	Diego San Miguel
Superintendencia de Servicios Sanitarios	Marta Sepúlveda
Dirección General de aguas – Región Metropolitana	Carmen Herrera Doris Aguilar
Unidad de Gestión ambiental y Territorial, SEREMI MOP Región Metropolitana	Alberto Calatroni
División de Hidrología	Brahim Nazarala
Secretaría Ejecutiva Medio Ambiente y Territorio, Dirección General de Obras Públicas, Ministerio de Obras Públicas	Bárbara Zamora Evelyne Medel Pamela Santander

En esta instancia se obtuvo la validación del concepto, sin embargo se expusieron temas de relevancia que fueron discutidos por los participantes. Se expuso la posibilidad de incluir el término de cambio climático en la definición, observación no acogida por el equipo consultor, ya que se entiende que el cambio climático es uno de los cinco factores condicionantes de la Seguridad Hídrica y su inclusión, por consecuencia, implicaría la inclusión de los cinco factores en la definición. Un segundo aspecto, es la palabra “aceptable” de la definición, la cual es cuestionada al ser ambigua, en este sentido se opta por la palabra “adecuada”. Finalmente se cuestiona la aplicabilidad del concepto respecto a lo “adecuado”, concluyendo que su implementación, y por ende la definición de “adecuado”, debe ser a nivel de cuenca, en donde la gobernanza es la llamada a definir las metas en su territorio de jurisdicción.

Respecto al enfoque metodológico de los indicadores, no existen mayores cuestionamientos, salvo la definición de pesos y la posibilidad de conocer el valor de los índices de cada nivel.

Finalmente, en el Anexo 4, es posible observar la lista de asistencia y en el Anexo 5 la minuta del taller.



## XI. BIBLIOGRAFÍA

AdaptChile, s.a. Enfrentando la brecha de comunicación ciencia-política a nivel comunal. Disponible en WWW: <http://www.adapt-chile.org/web/wp-content/uploads/2015/04/POLICY-BRIEF-3.pdf> consultado en 12 de enero de 2017.

AGRIMED, 2008. Análisis de Vulnerabilidad del Sector Silvoagropecuario, Recursos Hídricos y Edáficos de Chile frente a Escenarios de Cambio climático. Capítulo IV – Estudio Final. Análisis de Vulnerabilidad Silvoagropecuaria en Chile frente a Escenarios de Cambio Climático. Santiago, Chile. 93 pp.

AGRIMED, 2014. Atlas de Cambio climático en las zonas de régimen árido y semiárido. Regiones de Coquimbo, Valparaíso y metropolitana, Chile. 136 pp.

Aitken, D., D. Rivera, A. Godoy-Faúndez, E. Holzapfel. 2016. Water scarcity and the impact of the mining and agricultural sectors in Chile. *Sustainability* (8), 128; doi:10.3390/su8020128.

Aldunce, P. y M. Gonzalez. 2009. Desastres Asociados al Clima en la Agricultura y en el Medio Rural en Chile. Santiago: Fundación para la Innovación Agraria, Ministerio de Agricultura. Allan, C., J. Xia, y C. Pahl-Wostl. Climate change and water security: challenges for adaptive water management. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5:625-632.

Australian Government Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts 2010. Securing our water future. Commonwealth of Australia 2010. 18p.

Ayala, Cabrera y Asociados Ingenieros Consultores, 2007b. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras zona II: regiones V a XII y Metropolitana. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas Departamento de Estudios y Planificación.

Ayala, Cabrera y Asociados Ingenieros Consultores, 2007a. Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras zona 1 norte: regiones I a IV. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas Departamento de Estudios y Planificación.

Bakker, K., y C. Morinville. 2013. The governance dimensions of water security: a review. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 371: 20130116.

Banco Mundial, 2011. Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. 92 pp.

Banco Mundial, 2013. Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. 220 pp.

Banco Mundial. 2011. Diagnóstico de la gestión de los Recursos hídricos - Chile. 78 pp.

Bauer, C. 2015. Canto de Sirenas. El derecho de aguas chileno como modelo para las reformas internacionales. Ediciones El Desconcierto, 319pp.

Boettiger, C. 2013. Caudal ecológico o mínimo: regulación, críticas y desafíos. *Actas de Derechos de Aguas* (3):1-12.



Bogardi, J., U. Oswald-Spring, H. Günter-Brauch. 2016. Past, present and future of a controversial concept. En *Handbook on Water Security*, C. Pahl-Wostl, A. Bhaduri, y J. Gupta. 38-58. Edward Elgar Publishing.

Boisier, L.P., R. Rondanelli, R. Garreaud, y F. Muñoz. 2016. Anthropogenic and natural contributions to the southeast pacific precipitation decline and recent megadrought in central Chile. *Geophysical Research Letters*. DOI: 10.1002/2015GL067265.

Bórquez, R. 2011. Brecha entre la investigación científica y las políticas públicas en Chile, el caso de la investigación relacionada con el cambio climático. Tesis para optar al grado de magíster en Gestión y Políticas públicas. 87 pp.

Bradshaw, R., y M. Sykes. 2014. *Ecosystem dynamics. From the past to the future*. Wiley Blackwell. 321pp.

California Natural Resources Agency et al. 2014. California Water Action Plan 2016 Up. Disponible en WWW: [http://resources.ca.gov/docs/california\\_water\\_action\\_plan/Final\\_California\\_Water\\_Action\\_Plan.pdf](http://resources.ca.gov/docs/california_water_action_plan/Final_California_Water_Action_Plan.pdf). Accedido el 28 de noviembre 2016.

Camarena, A. 2016. Retos de la seguridad hídrica en América Latina: el caso de México. Presentación en II Diálogos del agua, América Latina - España 2016. Disponible en WWW: <http://www.iagua.es/noticias/conagua/16/10/13/retos-seguridad-hidrica-america-latina-caso-mexico>. Accedido el 12 de enero 2017.

Centro de Energía, 2016. Análisis de las condicionantes para el desarrollo hidroeléctrico en las cuencas del Maule, Bíobio, Toltén, Valdivia, bueno, Puelo y Yelcho, desde el potencial de generación a las dinámicas Socioambientales. Grupo de cuencas Número 2: Valdivia, Bueno, Yelcho y Puelo. Informe final. 822 pp.

CEPAL, 2009. La economía del cambio climático en Chile. Síntesis. 89 pp.

CEPAL, 2012. La economía del cambio climático en Chile. 367 pp.

CEPAL, 2015. La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible. 98 pp.

COCHILCO. 2013. Proyección de demanda de agua fresca en la minería del cobre, 2013-2021. Santiago, 46 pp.

Comisión Nacional del Agua, 2014. Programa Nacional Hídrico 2014- 2018. México, D.F. 142 pp.

CONAMA, 2008. Plan de Acción Nacional de Cambio Climático. 86 pp.

Cook, C., y K. Bakker. 2012. Water security: debating an emerging paradigm. *Global Environmental Change* 22: 94-102.

Cook, C., y K. Bakker. 2016. Water security: critical analysis of emerging trends and definitions. En *Handbook on Water Security*, C. Pahl-Wostl, A. Bhaduri, y J. Gupta. 19-37. Edward Elgar Publishing.



DGA, 2008. Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, Santiago.

DGA, 2012. Antecedentes para Aplicación de Metodología de evaluación de Cambio Climático. Santiago, Chile. 31 pp.

DGA, 2016. Atlas del Agua.

DICTUC. 2009. Propuesta de modificación de la Resolución (DGA) N°39 de 1984, criterios para calificar épocas de sequía que revistan el carácter de extraordinaria, Art. 314 del Código de Aguas, Volumen N°1. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

Fuster, R. 2013. El Estado de la gestión integrada de los recursos hídricos en Chile : estudio de casos en la cuenca del Río Limarí. Universitat Autònoma de Barcelona. Departament de Geografia. 146 p.

Fuster, R., L. González, L. Morales, C. Cerda, et al. 2009. Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en Chile. Estudio elaborado para la Biblioteca del Congreso Nacional. 395pp.

Garreaud, R., et al. 2015. Informe a la Nación: La megasequía 2010-2015: una lección para el futuro. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. 28p

Gerlak, A., y F. Mukhtarov. 2015. "Ways of knowing" water: integrated water resources management and water security as complementary discourses. International Environmental Agreements 15: 257-272.

Gleick, P. 1996. Basic Water Requirements for human Activities: Meeting Basic Needs. Water International, 21(1996) 83- 92. Disponible en WWW: [http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/citla/Lecturas\\_Temas\\_selecto\\_IV\\_AGUA/basic\\_water\\_needs\\_IN\\_WATER\\_INTERNATIONAL\\_21.pdf](http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/citla/Lecturas_Temas_selecto_IV_AGUA/basic_water_needs_IN_WATER_INTERNATIONAL_21.pdf), citado el 2 de diciembre de 2016.

Global Water Partnership (GWP), 2014a. Water Security: Putting the Concept into Practice. 55 pp.

Global Water Partnership (GWP), 2014b. Proceedings from the GWP workshop: Assessing water security with appropriate indicators. 120 pp.

Global Water Partnership (GWP). 2000. Towards water security: a framework for action, Estocolmo.

Global Water Partnership (GWP). 2010. La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales. 108p

González C., O. Martínez, y A. Martínez. 2013. El Cambio climático. Impacto en las comunidades. Servicio de extensión agrícola, colegio de ciencias agrícolas, Universidad de Puerto Rico. Disponible en WWW. <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-918/ccimpactpublicacion.pdf>, citado el 1 de diciembre de 2016.

Grey, D., C.W., Sadoff. 2007. Sink or swim? Water security for growth and development. Water Policy 9: 545-571.



Hall, J., E. Borgomeo. 2013. Risk-based principles for defining and managing water security. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 371: 20120407.

Hoekstra, A.Y., M.M. Mekonnen, A.K. Chapagain, R.E. Mathews, B.D. Richter. 2012. Global monthly water scarcity: blue water footprints versus blue water availability. *PLoS ONE* 7(2): e32688. doi:10.1371/journal.pone.0032688.

Hoekstra, A.Y., M.M. Mekonnen, M.M. Aldaya, A.K. Chapagain. 2011. *The water footprint assessment manual: setting the global standard*. Routledge.

Homsí J. 2016. Columna de opinión, Saneamiento rural. *Revista InduAmbiente* Año 24 – N° 143. Noviembre – Diciembre 2016, página 99.

IPCC, 2013. *Climate Change: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.

IPCC, 2014. *Cambio Climático 2014. Informe de síntesis*. 176 pp.

Lankford, B., K. Bakker, M. Zeitoun y D. Conway. 2013. *Water security. Principles, perspectives and practices*. Routledge, Taylor and Francis Group.

Lansigan, F. y A. de la Cruz. 2016. *Water Security in Southeast Asia Region*. En *Handbook on Water Security*, C. Pahl-Wostl, A. Bhaduri, y J. Gupta. 317-331. Edward Elgar Publishing.

Liu, J., Q. Liu, H. Yang. 2016. Assessing water scarcity by simultaneously considering environmental flow requirements, water quantity, and water quality. *Ecological Indicators* 60:434-441.

López, E., A. Dumont, P. Martínez, I. Niemeyer, B.A. Willaarts. 2012. The concept of food and water security. En *Water, agriculture, and the environment: can we square the circle?*, De Stefano, L., M. Ramón Llamas. 23-33 Leiden: Taylor and Francis.

López, E., M. Ballesteros, L. Stefano, A. Garrido, N. Henández, y B. Willaarts. 2016. Water security or water "securities". Increasing complexity in balancing of multiple goals in Spain. En *Handbook on Water Security*, C. Pahl-Wostl, A. Bhaduri, y J. Gupta. 257-280. Edward Elgar Publishing.

Martínez- Austria, P. 2013. Los retos de la seguridad hídrica. *Tecnología y ciencias del agua*. vol.4 no.5 Jiutepec nov./dic. 2013. Disponible en WWW: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222013000500011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000500011).  
Accedido 27 de noviembre de 2016.

Mason, N., R. Calow. 2012. *Water security: from abstract concept to meaningful metrics. An initial overview of options*, Working Paper, N°357, Overseas Development Institute (ODI), Londres, 78pp.

MMA, 2012. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático*. 56 pp.

MMA, 2016. *Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2016*. 506 pp.

MOP, 2013. *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 – 2025*. 40 pp.



National Water Commission, 2014. Australia's water blueprint: national reform assessment 2014. Disponible en: <http://webarchive.nla.gov.au/gov/20160615062247/http://www.nwc.gov.au/publications/topic/assessments/australias-water-blueprint-national-reform-assessment-2014>. Accedido 25 de noviembre de 2016.

Ocampo, A., S. Vicuña, J. Gironás, R.G. Varady y C. Scott. 2016. Scientists, policymakers, and stakeholders plan for climate change: a promising approach in Chile's Maipo Basin. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development* 58(5): 24-37.

OCDE, 2016. Evaluaciones de desempeño ambiental Chile. 275 pp.

OCDE. 2013. Water security for better lives, OECD Studies on Water, OECD Publishing.

ONU-Agua. 2013. Water security and the global water agenda. A UN-Water analytical brief. United Nations University.

Organización Meteorológica Mundial. 2012. Guía del usuario sobre el Índice normalizado de precipitación (OMM-Nº 1090). Ginebra, Suiza.

Padowski, J. C., y J.W. Jawitz .2012. Water availability and vulnerability of 225 large cities in the United States, *Water Resources Research* 48 W12529, doi:10.1029/2012WR012335

Pahl-Wostl, C. 2016. Water Security, Systemic Risks and Adaptive Water Governance and Management. En *Handbook on Water Security*, C. Pahl-Wostl, A. Bhaduri, y J. Gupta. 38-58. Edward Elgar Publishing.

Pahl-Wostl, C., A. Bhaduri, y J. Gupta. 2016. *Handbook on Water Security*. Edward Elgar Publishing.

Pahl-Wostl, C., M. Palmer, y K. Richards. 2013. Enhancing water security for the benefits of human and nature-the role of governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5:676-684.

Pahl-Wostl, C., y K. Knüppe. 2016. Water Security and Environmental Water needs: The Role of The Ecosystem Services Concept and Transformation of Governance Systems. En *Handbook on Water Security*, C. Pahl-Wostl, A. Bhaduri, y J. Gupta. 38-58. Edward Elgar Publishing.

Patrick, M., S. Elsayah, I. Burgher, y A.J. Jakeman. 2016. Australian water security: a water-food-environment-energy nexus perspective. En *Handbook on Water Security*, C. Pahl-Wostl, A. Bhaduri, y J. Gupta. 332-359. Edward Elgar Publishing.

Peña, H. 2016. Desafíos de la Seguridad Hídrica en América Latina y el Caribe. Serie Recursos Naturales e Infraestructura N°178, CEPAL, 55pp.

Potschin, M., y R. Haines-Young. 2011. Ecosystem services: exploring a geographical perspective. *Progress in Physical Geography* 35 (5) 575-594.

Rodrigues, D.B., H.V. Gupta, E.M. Mendiondo. 2014. A blue/green water-based accounting framework for assessment of water security. *Water Resource Research* 50:7187-7205.



Rojas, M. 2012. Consultoría para la elaboración de un estudio sobre estado del arte de modelos para la investigación del calentamiento global. Informe final. Santiago, Chile. 44 pp.

Santis, G. 2016. Capítulo 6. Necesidades y Apoyo Recibido en Materia de Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2016. 439 – pp.

SCBD. 2013. Water and Biodiversity - Natural Solutions for Water Security. Canada, 95 pp.

Scott, C., F.J. Meza, R.G. Varaday, et al. 2013. Water security and adaptive management in the Arid Americas. *Annals of the Association of American Geographers*, 103:2, 280-289.

Smakhtin, V., C. Revenga, P. Döll, R. Tharme, J. Nackoney, Y. Kura. 2004. Taking Into Account Environmental Water Requirements in Global-Scale Water Resources Assessments; Comprehensive Assessment Secretariat: Colombo, Sri Lanka.

Tickner, D., y M. Acreman. 2013. Water security for ecosystems, ecosystem for water security. En *Water security. Principles, perspectives and practices*. B. Lankford, K. Bakker, M. Zeitoun y D. Conway. 130-147. Routledge, Taylor and Francis Group.

Universidad de Chile, 2016. Estado del arte y desafíos en los servicios sanitarios rurales. Informe final. Santiago, 40 pp.

Universidad de Chile-INAP-CAPP, 2016. Informe país. Estado del Medio Ambiente en Chile. Comparación 1999-2015. 605pp.

Veettil, A.V., A.K. Mishra. 2016. Water security assessment using blue and green water footprint concepts. *Journal of Hydrology* 542: 589-602

Villarroel, F. 2011. Asociaciones públicas comunitarias de Agua Potable rural en Chile (APR): Caracterización, función, contexto y desafíos. Tesis para optar al grado de Antropólogo. 158 pp.

Zeitoun, M., B. Lankfor, T. Krueger, T. Forsyth, R. Carter, et al. 2016. Reductionist and integrative research approaches to complex water security policy challenges. *Global Environmental Change* 39: 143-154.

Zubrycki, K., D. Roy, H.D. Venema, y D. Brooks. 2011. Water security in Canada: responsibilities of the federal government. Water Innovation Centre, International Institute for Sustainable Development (IISD), Winnipeg, Manitoba, Canada, 86pp.



## XII. ANEXOS

### XII.1. Anexo 1. Base de datos de antecedentes

La base de datos se adjunta al presente informe en formato digital.

### XII.2. Anexo 2. Documentos digitales

El presente Anexo contiene los documentos digitales contenidos en la base de datos del Anexo 1, cada uno nombrado según el ID que se registra en la base de datos.

### XII.3. Anexo 3 Minutas de entrevistas realizadas

A continuación se exponen las minutas de las reuniones llevadas a cabo en el contexto de la definición del concepto de Seguridad Hídrica.

#### Minuta N° 1

##### Concepto de Seguridad hídrica

- La construcción teórica es buena, y pone énfasis en distintos aspectos
- El concepto se enfoca en la prevención y no en la reacción, que es muy importante en DGA.
- Las brechas están en la gestión y no en la SH
- La definición quiere dar atención a todo, podemos llegar a no ser reales.
- En Chile el “acceso” está limitado, está basado en el mercado. El DAA condiciona todo, y hay que tenerlo presente en el modelo.
- El nivel aceptable, está condicionado por los estándares de consumo actuales.
- Teóricamente está bien el concepto.
- Explorar como incluir el mercado en el análisis.
- ¿Qué es aceptable?
- El concepto es suficientemente amplio para adecuarse a las realidades del país.
- Al ser amplio el concepto, permite incluir los aspectos legales.
- Resiliencia, está bien, pero se enfoca en lo preventivo. Cómo nos recuperamos después de un evento, cómo nos recuperamos de los daños. Hay que considerar la reacción. ¿Cómo reconstruir la SH? porque no todos somos igual de resilientes.
- Ampliar el horizonte temporal
- La crecida es la consecuencia de un proceso, pero hay otras consecuencias como aluviones, inundaciones. Podría modificarse y poner “efectos de alta pluviosidad o pluviosidad intensa”

##### Dimensiones

- Priorización de usos.
- El Código de Aguas no toca el uso no extractivo.
- Saneamiento, incluirlo en el uso para consumo humano.
- Se entiende que el saneamiento es un aspecto transversal, pero debería incluirse explícitamente en la primera dimensión.
- Reducción de riesgos, podría incluir “y rápida reacción en caso de eventos extremos”. Una vez que es vulnerada la SH se debe recuperar.



### Diagrama general

- Incluir la dimensión temporal en el diagrama completo.
- En tercera dimensión podría incluirse el término protección, ya que los objetivos de la protección son distintos a la conservación.
- Se propone cambiar “bienestar humano” por “bienestar humano y cuidado del agua”
- El bienestar humano debe ser realista, debe considerar la capacidad de carga del sistema
- Se propone cambiar “bienestar humano” por “supervivencia”. Ocupar conceptos alarmantes para llamar la atención.

### Conclusiones

- Considerar las características del DAA, es decir las limitaciones dadas por este y el mercado.
- Incluir la variable reactiva en el concepto.
- Ocupar conceptos que llamen la atención.
- Incluir la variable temporal.

### Minuta N° 2

#### Concepto de Seguridad hídrica

- Priorización de agua para consumo humano
- El consumo de agua potable es cerca del 8%, no es nada en comparación a los otros usos.
- No tenemos porqué pagar un costo como usuarios por la mala gestión de los recursos hídricos, da el ejemplo de la desaladoras, las cuales serán construidas con subvención del Estado, pero el funcionamiento es lo más caro y lo tendrán que pagar los usuarios.
- El término subsistencia, se asimila a subsistir, por lo que no apunta a tener un nivel de vida adecuado si no que a sobrevivir. Denota precariedad.
- Además de incluir las sequías, crecidas y contaminación, se debería incluir los fenómenos meteorológicos que influyen en la turbiedad de las aguas, esto por el ascenso de la isoterma cero. Propone incluirlo quizá como “fenómeno climatológico2 o “Altas turbiedades”, ya que afecta al suministro de agua potable.

#### Dimensiones

- Sequías, crecidas y turbiedades extremas
- Las dimensiones abarcan el concepto
- Es importante que se prioricen los usos.
- La gobernanza es un término bien manoseado, pero no se concreta.
- Expone que las consecuencias del Cambio Climático no son concluyentes, y no bajan a las fuentes. La SISS para evaluar las próximas inversiones tiene que tener certezas porque estas tendrán consecuencias en las tarifas de agua potable. El usuario para la inversión y la operación en la tarifa. Hay impactos.

#### Conclusiones

- Incluir Turbiedades extremas dentro de los riesgos.
- Priorización de usos.



### Minuta N° 3

#### Concepto de Seguridad hídrica

- El concepto está asociado a una disponibilidad para suministrar agua a las distintas demandas.
- El DARH es el departamento que se encarga de autorizar permisos de obras y otorga DAA.
- Tienen brechas y no tienen normas que le permitan priorizar usos, ellos asignan en base al orden de llegada de las solicitudes.
- Esto es un tema histórico.
- El punto clave para la SH es la disponibilidad.
- Se puede reservar agua, pero no hay donde hacerlo. En la actualidad se está reservando en los acuíferos, pero esta sienta solicitado.
- Está de acuerdo con la definición, ya que recoge todos los componentes más importantes.

#### Dimensiones

- Plantea la duda respecto a cómo se medirán las dimensiones
- Las dimensiones abarcan todo, y está bastante alineado con la definición.
- Han querido incluir en sus balances el Cambio climático para mejorar el otorgamiento de DAA para considerarlo, actualizar las metodologías
- La SH y dimensiones de algún modo sienta las bases para ir avanzando en esta línea.
- Se trabaja con estadísticas histórica, pero no son capaces de mirar al futuro, de proyectar.
- No incluyen el concepto de riesgo en su labor. Lo considera importante.

#### Conclusiones

- Consideran que lo más relevante es el riesgo. El poder incluir los componentes necesarios en la labor diaria para anticiparse.
- Como departamento tienen un peso específico importante.

### Minuta N° 4

#### Concepto de Seguridad hídrica

- Riesgo,
- El concepto de SH se ve por el lado contrario, se ve como factor económico, lo que cuesta no tomar medidas hoy día, y eso en el futuro va a tener un costo en el futuro incluso no sólo para la SH si no para mantener el nivel.
- El problema "la existencia de la cantidad es una variable exógena, a todos nos gustaría tener lluvia, pero estamos secos de norte a sur, situación que no se daba antes.
- La calidad, con lo que haya puedo arreglármelas, pero la limitante es lo que hay.
- Sobre la cantidad no hay mucho que hacer, sobre todo en agua superficial. Quizá en aguas subterráneas puedo tomar algunas medidas, aunque sean pocas.
- Agua para diferentes usos, ahora se prioriza el consumo humano.
- El concepto es amplio, pero de alguna manera tendremos que ramificarlo, pero la SH para algunos sectores puede ser mayor que en otros. La SH no es pareja entre usos.
- La SH siempre va a chocar con los Derechos de Aprovechamiento de Aguas, si no hay expropiación no hay forma de implementar la GIRH y la SH
- La DGA gestiona el bien común, los titulares velan por el bien individual.
- La GIRH es útil como concepto, pero no funciona en Chile existe un choque.



- Los acuerdos frente a presión económica no prevalecen.
- Los problemas son:
  - Certeza de titularidad de DAA.
  - Hay una necesidad de sincerar los datos cuanto disponibilidad hay de agua en acuíferos y otros
  - Institucionalidad no funciona, crear una nueva institucionalidad en la cuenca
  - Clandestinidad, la ley de alguna forma pone las condiciones para que exista una extracción ilegal, en cuanto a el procedimiento de solicitud de DAA subterráneas.
  -
- Gestión Eficiente y sustentable. Incluir la eficiencia
- Hay una priorización mantener el nivel parejo para todos los sectores no es viable.

#### Dimensiones

- Tenemos dos escenarios, uno con el actual código de aguas y otro con las modificaciones propuestas al código. Las dimensiones solo son aplicables con las modificaciones.
- Escenario técnico, propender al modelo práctico.
- Gestión-OUA, cuantos están dispuestos a ser controlados, hay muchos obstáculos
- Crean que están bien las 4 dimensiones.
- Reducción de los riesgos va a ser un tema futuro muy relevante.
- Hay que jerarquizar cuencas, pero en base a qué jerarquizamos. ¿En base a número de habitantes, trascendencia económica? Se debe trabajar en parámetros de jerarquización, podrían ser importancia económica, importancia estratégica, dependencia del agua como fuente, etc.
- Manejo de riesgos, ¿cuál es el costo de no hacer nada?

#### Conclusiones

- Tener en consideración la realidad chilena, en específico el Derecho de Aprovechamiento de Aguas, la priorización de usos (modificación propuesta al código), la clandestinidad y la ausencia de información.
- Tomar el sistema entero, aguas superficiales y subterráneas.
- Ponernos en un escenario de cambio de código de aguas
- Jerarquizar las dimensiones

#### Minuta N° 5

##### Concepto de Seguridad hídrica

- Se expone que las expresiones “cantidad adecuada” y “nivel aceptable” depende del lugar en donde se aplique el concepto. ¿Quién define cual es la cantidad adecuada y cuál es el nivel adecuado?
- La Seguridad hídrica dependerá del sector del país en el cual se aplique. Dependerá del nivel en el cuál se decida aplicar y del territorio definir que es adecuado y aceptable.
- La Seguridad Hídrica es la meta, es cuantificable.
- El enfoque es bienestar humano y acceso del agua a la población.
- Explicitar en el concepto que la Seguridad hídrica es una **meta**, para evitar confusiones entre este término y Gestión integrada.
- Sequía versus escasez hídrica.
  - Se expone la mirada de la DGA prefieren el concepto de escasez hídrica en lugar que la sequía. En DGA utilizan escasez hídrica, tiene parámetros objetivos, criterios, e independiente del uso que se le dé al agua la institución define si poca o harta agua.
  - **Sequía**, se basa estándar nacional de umbrales para definir sequía. Se habla de sequía porque se



entiende el riesgo frente a condiciones naturales, no tiene que ver con el uso, evento extremo. La escasez es relativa a la demanda. La sequía se puede estandarizar, haciendo comparable la situación entre distintos territorios.

- Escasez es un concepto más amplio, puede ser climático o por sobre uso.
  - El concepto de **sequía** abstrae los efectos antropogénicos, son efectos climáticos, lo que influye en la menor cantidad de agua.
  - Se ejemplifica con contaminación, se decreta contaminación en base a una norma, si no hay norma no hay contaminación. ¿Cuándo hay sequía?, cuando estas por debajo de lo normal, es independiente de la demanda. Similar situación ocurre con el término crecida.
  - En SH tratamos de rescatar los eventos extremos, sequía y crecidas.
  - Se inclinan por el término sequía y crecida para incluir en la conceptualización.
  - Sequía es hidrológica climática, crecida también es climatológica. Cuando ocurre una crecida, todo el escurrimiento que se genera enmascara las extracciones, de alguna forma se ven caudales no antropogénicas.
- **Gobernanza**
    - En la discusión se propone preliminarmente la siguiente definición: “Capacidad de una población para manejar las interrelaciones entre los diferentes usos y sectores y los riesgos asociados al agua para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el abastecimiento humano, los usos de subsistencia, la protección de los ecosistemas y la producción”.
    - La definición releva la gobernanza.
    - Deben consensuarlo como división.
    - El concepto habla de gestión, no llegamos a la meta. La **meta** no está explícita en la definición del concepto expuesta.
    - Dentro de la capacidad de manejar, también entra el término de resiliencia.
  - **Indicadores, te ayudan a delimitar el concepto.**
    - Es probable que los indicadores te delimiten la definición.
    - Puede faltar un indicador que medir la gestión.
    - En la definición incluir “a diferentes escalas”, para abordar la gestión a distintos niveles.
    - SH es una meta, tiene componentes claros que son independiente a la gestión, la gestión tiene mecanismos para lograr esta meta.
    - Se podrían tirar indicadores de gestión, de gobernanza y de servicios eco sistémicos, pero no llegarías al objetivo.
    - En la definición de indicadores no acotarlo solo a infraestructura, se recomienda tocar la planificación territorial.
  - **Dimensiones**
    - Las dimensiones reflejan los elementos que quedan implícitos en la definición de Seguridad Hídrica que se reescribirá.
    - Las dimensiones abordan los principales elementos de la Seguridad hídrica. Sólo se expone que modificarían en orden de éstas y que están alineadas con las modificaciones del código de aguas.
    - Lo usos no productivos expuestos en las dimensiones corresponden a usos no extractivos, in situ, como los usos ancestrales y culturales.
    - En las dimensiones homogenizar y exponer sequía y crecida, en lugar de escasez de agua y exceso de agua.
    - No sólo la reducción de riesgos, implica gestión. En realidad todas las dimensiones requieren gestión.
    - Respecto al saneamiento queda la duda respecto a su inclusión explícita en la definición. El país ya tiene control frente al acceso del agua de la población y ahora el desafío es el saneamiento. Esta incluido implícitamente y se interconecta con las otras dimensiones.
    - Se podría modificar el orden de las dimensiones.



- El orden está muy alineado con las propuestas de modificación al Código de Aguas.
- Otros usos, se refiere a usos no productivos, in situ.

### **Conclusiones**

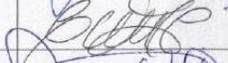
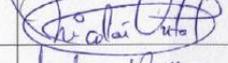
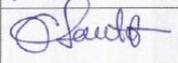
- Se redactará la definición del concepto para que dé cuenta de una meta en lugar de un medio.
- El concepto debe aplicarse a nivel local.
- Se mantiene el término sequía.
- En las dimensiones, homogenizar y exponer sequía y crecida, en lugar de escasez de agua y exceso de agua.



## XII.4. Anexo 4. Lista de Asistencia

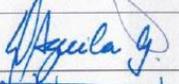
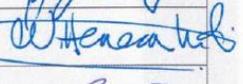
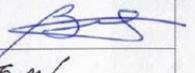
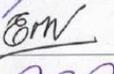
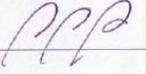
  
UNIVERSIDAD DE CHILE

**Asistencia reunión de trabajo**  
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  
Viernes 18 de noviembre de 2016

Nombre	Institución	Correo	Teléfono	Firma
Enrique Gallardo Z.	DOH - RNS	enrique.gallardo@mop.gov.cl	4602	
M <sup>a</sup> Carolina Montiel	UIRH - DOH	maria.montiel@mop.gov.cl	4370	
Nicolai Oula Parangy	DGA - DEP	nicolai.oula@mop.gov.cl	3908	
Andrea Osses Vargas	DGA - DEP	andrea.osses@mop.gov.cl	3906	Andrea Osses
Gladys Santis Garcia	MMA	gsantis@mma.gob.cl	25735790	
BRAHIM KARAMALLA G	DGA - HIDROLOGIA	brahim.karamalla@mop.gov.cl	22493761	B.K.
Diego San Martín	DGA - DCPRH	diego.sanmartin@mop.gov.cl	24493750	

  
UNIVERSIDAD DE CHILE

**Asistencia reunión de trabajo**  
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  
Viernes 18 de noviembre de 2016

Nombre	Institución	Correo	Teléfono	Firma
Alberto Calatrón Vázquez	UGAT Sereni MOP RNS	alberto.calatroni@mop.gov.cl	22 449 6563	
Doris Aguila G.	DGA - RMS	doris.aguila@mop.gov.cl	24496663	
Carmen Henares Trujillo	DGA - RMS	carmen.henares@mop.gov.cl	24496651	
Barbara Zamora	SONAT - DCP-REP	barbara.zamora@mop.gov.cl	24494008	
Evelyn Medel Vera	✓	evelyn.medel@mop.gov.cl	4021	
Famila Santibañez A.	✓	famila.santibanez@mop.gov.cl	224494016	



## XII.5. Anexo 5. Taller de validación de Seguridad Hídrica y enfoque metodológico de indicadores

Minuta Taller

Fecha: 18 noviembre 2016

Lugar: Sala de reuniones de DGOP, MOP

### Validación de concepto de Seguridad Hídrica

- Se expone la necesidad de interrelacionar la Seguridad Hídrica con el cambio climático
- El estudio tiene como finalidad sentar las bases para un plan de adaptación al cambio climático de los recursos hídricos, por lo tanto, se espera que el nexo sea mayor entre Seguridad Hídrica y cambio climático.
- Se pide la inclusión del término de cambio climático en la definición de Seguridad Hídrica.
- Dentro del factor condicionante de cambio climático están contenidos los aspectos económico, social y ambiental, por lo que no visualizan el porqué de la no inclusión de únicamente el término cambio climático.
- El equipo consultor expone que el cambio climático es un factor condicionantes de la seguridad hídrica, por lo que si incluye este se debe incluir el resto, de esta forma el concepto sería consecuente.
- Dentro de la literatura, no se incluye explícitamente el tema del cambio climático en las definiciones.
- El cambio climático es clave para definir las estrategias...
- Se cuestiona las palabras aceptable, y se solicita cambiar por adecuado.
- Se explica que cada territorio (cuenca) debe plantear qué es lo adecuado.
- Se solicita cambiar la palabra aceptable de la definición por adecuado.
- El concepto de Seguridad Hídrica está pensado para darle operatividad, debemos pensarlo como una meta para generar el Plan Integrado de Gestión de Cuencas. El concepto establece estructuras de gobernanza y la definición de lo que es aceptable está dada por las metas que se establezca cada gobernanza.
- El desafío es la descentralización de la gestión, quedando en las cuencas.
- La definición no puede ser tan taxativa, no puede ser rígida, esto permite que cada cuenca tome sus decisiones
- Hay un estudio de la OCDE que expone la brecha institucional, lo cual afecta a la Seguridad Hídrica. El estudio aún no está publicado.
- Se recomienda revisar la agenda 3030 del MOP
- Un elemento de relevancia, que no debe estar explícitamente en la definición, es la información. Es una condicionante transversal. Todos los modelos deben estar relacionados con las necesidades de información.
- El tema de la contaminación también es un riesgo, un riesgo desde la salud humana
- El equipo consultor expone que la contaminación está contenida en la dimensión 3 y que las dimensiones están conectadas, por lo que no estima conveniente incluirlo nuevamente en otra



dimensión.

- Se propone cambiar aceptable por mínima.
- Se releva el tema de la gestión, la cual está definida por el código de aguas y recae en los privados, no en el Estado. Por tanto, la definición adolece de la situación del país. El código de aguas es su principal condicionante.
- El código de aguas siempre será un condicionante, siempre habrá un marco regulatorio que establezca las reglas y los límites.
- ¿Qué pasa con las cuencas costeras?
- El agua de mar debiese estar incluida como fuente de agua, ya que esta fuera del territorio considerado en la definición, que es la cuenca.
- Pensar en incluir en el fin de la Seguridad hídrica “bienestar humano y cuidado del agua”, para no enfatizar sólo lo cultural humano
- La protección / conservación podría quedar en la dimensión y no en la subdimensión.
- En lugar de gobernanza o como complemento poner explícitamente “intereses económicos”.

#### **Indicadores**

- Los indicadores a veces nublan la vista, porque esconden información. A lo mejor el subíndice que proponen permite que no se esconda el valor en rojo (se refiere al valor que no está dentro de los parámetros ideales)
- ¿Qué pasa con los pesos?
- El equipo consultor responde que los pesos corresponden a una decisión política, pero que se puede hacer una propuesta.

#### **Conclusiones**

- En la definición se cambia de aceptable a adecuado.
- Lo adecuado se define a nivel de cuencas.
- Se acepta el enfoque metodológico



## XII.6. Anexo 6. Lista de indicadores de Seguridad Hídrica recopilados desde la literatura

Dimensión	Sub Dimensión	Indicador
Acceso en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano	Actividades de subsistencia familiar	-
	Necesidad humanas básicas	Población urbana/rural con servicio de agua potable (Buccheri y Comellas. 2015; GWP, 2014)
		Eficiencia en distribución por redes de abastecimiento población y consumo (Buccheri y Comellas. 2015)
		Consumo de agua por habitante (l/hab.día) (Buccheri y Comellas. 2015)
		Requerimientos humanos básicos (Brown y Matlock, 2011; Norman, <i>et al.</i> , 2012).
		Máximo número de personas por fuente de agua (Dickson, Schuster-Wallace y Newton, 2016)
		Estrés social del recurso hídrico (Población / Disponibilidad total) (Mason y Calow 2012)
Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable	Actividades productivas no extractivas de agua	Participación de la hidroelectricidad en la generación eléctrica expresada en % (GWP, 2014)
		Proporción de potencial hidroeléctrico desarrollado (en relación al potencial técnicamente explotable) (GWP, 2014)
	Actividades productivas extractivas de agua	Distribución del área irrigada según agua superficial (o subterránea o mixta) sobre total de tierras agrícolas irrigadas (%) (Buccheri y Comellas. 2015)
		Superficie irrigada por agua superficial (subterránea o mixta) sobre total de tierras agrícolas irrigadas (Buccheri y Comellas. 2015)
		Agua superficial asignada por uso sobre total agua superficial (%) (incluyendo uso ecológico y humano) (Buccheri y Comellas. 2015)
		Consumo de agua por actividad y rama industrial (litros/seg) (Buccheri y Comellas. 2015)
		Eficiencia de aplicación (agua de riego) (%) (Buccheri



		y Comellas. 2015; GWP, 2014)
		Eficiencia de conducción-distribución agua de riego (%) (Buccheri y Comellas. 2015)
		Productividad económica del agua por sector (agricultura, industria, silvicultura, etc.) (GWP, 2014; Comisión Nacional del Agua, 2014; Mason y Calow, 2012).
Cuerpos de agua con cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medio ambiente y los diferentes usos	Protección y conservación de ecosistemas	Muestras que cumplen el estándar (normativa por uso) sobre total de muestras (%) (Buccheri y Comellas. 2015)
		Estado trófico de embalses y diques (cualitativo) (Buccheri y Comellas. 2015)
		Índice de calidad de agua para la protección de la vida silvestre (Dickson, Schuster-Wallace y Newton, 2016)
		Subsistencia de peces (Dickson, Schuster-Wallace y Newton, 2016)
		Calidad de agua de ecosistemas (Mason y Calow, 2012).
		Indicador de Calidad de agua para uso recreacional (Canadian Environmental Sustainability Indicators)
	Control de contaminación	Aguas industriales tratadas in situ sobre total de efluentes (% por industria) (Buccheri y Comellas. 2015)
		Empresas con tratamientos de efluentes in situ sobre total de empresas (% por industria)
		Conjunto de parámetros microbiológicos de calidad de agua potable (Dickson, Schuster-Wallace y Newton, 2016)
		Conjunto de parámetros químicos de calidad de agua potable (Dickson, Schuster-Wallace y Newton, 2016)
Turbiedad (Dickson, Schuster-Wallace y Newton, 2016)		
Fuentes de contaminación cerca de fuentes de agua (Dickson, Schuster-Wallace y Newton, 2016)		
Nivel de riesgos relacionados a	Sequía	Capacidad de almacenamiento de agua (Mason y Calow, 2012).



eventos extremos		Variabilidad de precipitaciones (Climate Moisture Index - CMI; Mason y Calow, 2012).	
		Existencia de políticas y programas de emergencia frente a desastres (Comisión Nacional del Agua, 2014).	
		Coefficiente de almacenamiento del acuífero (entre 0 y 1) (Buccheri y Comellas. 2015)	
		Índice de aridez (Buccheri y Comellas. 2015; Dickson, Schuster-Wallace y Newton, 2016)	
		Vulnerabilidad de fuentes de agua (Dickson, Schuster-Wallace y Newton, 2016)	
		Indicador de escasez de agua (Norman, <i>et al.</i> , 2012)	
		Índice de estrés de agua (Norman, <i>et al.</i> , 2012)	
		Vulnerabilidad climática, medición basada en la topografía, el acceso y uso de agua, la capacidad humana e institucional (Mason y Calow, 2012).	
	Excesos de agua		Presencia de infraestructura de contención (Buccheri y Comellas. 2015)
			Índice de riesgo de mortalidad por inundaciones (Mason y Calow, 2012).
			Población y superficie productivas protegida contra inundaciones (Comisión Nacional del Agua, 2014).
			Cobertura de defensa aluvional sobre superficie de área urbana (%) (Buccheri y Comellas. 2015)
			Área de cobertura específica por diques de amortiguación de crecidas (km <sup>2</sup> ) (Buccheri y Comellas. 2015)
			Riesgo de mortalidad por inundaciones (Mason y Calow, 2012).
		Existencia de políticas de emergencia frente a desastres	
Saneamiento		Generación líquidos cloacales evacuados con tratamiento (m <sup>3</sup> /seg o l/seg) (Buccheri y Comellas. 2015)	
		Población con acceso a alcantarillado sobre total de población (%) (Buccheri y Comellas. 2015)	



		Efluentes con tratamiento secundario sobre total de efluentes generados (%) (Buccheri y Comellas. 2015)
		Porcentaje de la población con tratamiento de aguas servidas (GWP, 2014)
Indicadores transversales		Recurso Hídrico total, considerando la cantidad de agua de las fuentes superficiales y subterráneas, eliminando la duplicidad en la contabilización (Mason y Calow 2012; FAO).
		Estrés Hídrico relativo, relación entre extracciones de agua y la disponibilidad total de las fuentes (Mason y Calow 2012).
		Monitoreo de recurso hídrico, calidad y cantidad (Mason y Calow 2012).
		Disponibilidad de agua per cápita (Índice de Malin Falkenmark)
		Indicador de disponibilidad de agua (Norman, <i>et al.</i> , 2012)

Fuente: elaboración propia

#### Fuentes bibliográficas:

GWP, 2014. Proceedings from the GWP workshop: Assessing wáter security with appropriate indicators. 120 pp.

Brown A. y M. Matlock, 2011. A review of water scarcity indices and methodologies. Disponible en WWW: [https://www.sustainabilityconsortium.org/wp-content/themes/sustainability/assets/pdf/whitepapers/2011\\_Brown\\_Matlock\\_Water-Availability-Assessment-Indices-and-Methodologies-Lit-Review.pdf](https://www.sustainabilityconsortium.org/wp-content/themes/sustainability/assets/pdf/whitepapers/2011_Brown_Matlock_Water-Availability-Assessment-Indices-and-Methodologies-Lit-Review.pdf). Consultado noviembre 2016.

Buccheri, M. y E. Comellas. 2015. Indicadores para el monitoreo y evaluación hacia la GIRH. Disponible en WWW. [http://www.ina.gov.ar/pdf/ifrrhh/01\\_002\\_Buccheri.pdf](http://www.ina.gov.ar/pdf/ifrrhh/01_002_Buccheri.pdf). Consultado diciembre 2016

Comisión Nacional del Agua, 2014. Programa Nacional Hídrico 2014- 2018. México, D.F. 142 pp.

Dickson, S.E., C.J. Schuster-Wallace y J.J. Newton. 2016. Water Secutiry assessment indicators: The rural context. *Water Resour Manage* 30:1567-1604.

Norman, E., G. Dunn, K. Bakker, D. Allen y R. Cavalcanti de Albuquerque. 2012. Water Security Assessment: Integrating Governance and Freshwater Indicators. *Water Resour Mange* 27:535-551.

