

Desafíos Relacionados a los Recursos Hídricos en Chile para el Siglo XXI

Challenges Related To Water Resources In Chile For The 21st Century

Paulo Herrera Ricci⁴, Winston Alburquenque^{1,2}, Christian Bravo Bustos³, Roberto Pizarro Tapia^{5,6,7},
Reinaldo Ruiz⁵, Tonci Tomic⁸, Alfredo Ibáñez Córdova^{5,6}, Claudia Sangüesa Pool^{5,6,*}

*Autor de correspondencia

HISTORIA DEL ARTÍCULO

Recibido 22 Abril 2024

Revisado 20 Julio 2024

Aceptado 26 Agosto 2024

Publicado 20 Julio 2025

PALABRAS CLAVE

Gestión de recursos hídricos;
Derechos de agua; Gestión
integrada de cuencas
hidrográficas; Diagnóstico del
uso del agua

KEYWORDS

Water resources management;
Water rights; Integrated
Watershed management; Water
use diagnosis

Abstract

The special geography, the characteristics of the main economic activities and the uneven distribution of the country's population, make Chile present challenges in relation to water resources. This document aims to contribute to an informed discussion of the current and medium-term challenges facing Chile for the 21st century. To do this, it considers the management mechanisms currently in force and the regulations that regulate water use rights. Added to this are the main existing technical alternatives to solve the problems of water scarcity and with a perspective of 20 to 30 years. The situation of water availability in several regions of Chile is generating difficulties both at the level of domestic life and in the development of economic activities. However, there is a real possibility of solving many of these problems through adequate planning and the political will to promote the development of large-scale infrastructure projects such as desalination plants. The solution to current problems also requires introducing substantial changes to the current water allocation system, fundamentally in relation to the existence of water use rights that are sold on the market. This fact has generated economic efficiency but has represented barriers to the adoption of modern management measures that are currently operating in other countries, such as the artificial recharge of aquifers or the reuse of treated wastewater.

Resumen

La especial geografía, las características de las principales actividades económicas y la dispar distribución de la población del país, hacen que Chile presente desafíos particulares en relación a los recursos hídricos. Este documento tiene como objetivo contribuir a una discusión informada de los desafíos actuales y de mediano plazo que enfrenta Chile para el siglo XXI. Para ello considera, entre otros aspectos, los mecanismos de gestión actualmente vigentes y de la normativa que regula los derechos de aprovechamiento del agua. A ello se suman las principales alternativas técnicas existentes para solucionar los problemas de escasez hídrica y con una perspectiva de 20 a 30 años. La situación de la disponibilidad de agua en varias regiones de Chile está generando dificultades tanto a nivel de la vida doméstica, como en el desarrollo de actividades económicas. No obstante, existe la posibilidad real de resolver gran parte de esos problemas mediante una planificación adecuada y la voluntad política para impulsar el desarrollo de proyectos de infraestructura de gran escala como plantas desaladoras. La solución a los problemas actuales también requiere introducir cambios sustanciales al actual sistema de asignación del agua, fundamentalmente en lo que dice relación con la existencia de derechos de aprovechamiento de aguas que se comercializan en el mercado. Este hecho ha generado eficiencia económica, pero ha representado barreras para la adopción de medidas modernas de gestión que actualmente operan en otros países, tales como la recarga artificial de acuíferos o la reutilización de aguas servidas tratadas.

- 1 Facultad de Derecho, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago 8331150, Chile walburquenque@vgcabogados.cl
- 2 VGC Abogados, Las Condes, Santiago 7560941, Chile
- 3 BYG Abogados, La Serena 1710102, Chile Christian.bravo@bygltd.cl
- 4 Consultor Independiente, Santiago 8220000, Chile paulo.herrera.ricci@gmail.com
- 5 UNESCO Chair Surface Hydrology, University of Talca, Talca 3467769, Chile rpizarro@utalca.cl reinaldo.ruiz09@gmail.com
- 6 Centro Nacional de Excelencia para la Industria de la Madera (CENAMAD)- ANID BASAL FB210015, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 7810128, Chile. alibanez@utalca.cl/ csanguesa@utalca.cl
- 7 Facultad de Ciencias Forestales y de la Conservación de la Naturaleza, Universidad de Chile, La Pintana, Santiago 8820808, Chile.
- 8 Fundación INPROA, Providencia, Santiago 7510318, Chile. toncitomic@gmail.com

CONTEXTO GENERAL

En Chile como en otros países, el agua es el principal recurso natural, puesto que es necesaria para el desarrollo económico y social, así como para garantizar la preservación de los ecosistemas. Por ejemplo, la minería, que es la actividad productiva más importante representando un 15% del Producto Interno Bruto (PIB), depende del agua tanto para la refinación, como para la disposición de los residuos en tranques de relaves.

La demanda de agua por sector en Chile es similar a la observada en otros países. El sector agrícola es por lejos el mayor consumidor de este recurso, llegando a representar en algunos países hasta el 80% del total y en Chile más del 70%. Le siguen en importancia el consumo de agua potable para la población y los sectores industrial y minero. Estos últimos, por lo general, son mucho más eficientes en el uso del recurso en cuanto a tratamiento y reciclaje. También se necesita agua para generar energía eléctrica a través de centrales hidroeléctricas, para recreación y turismo. Asimismo, es fundamental poder disponer del agua necesaria para la preservación y mantención de los ecosistemas, toda vez que esto es vital para tender a una sostenibilidad hídrica del país en sus diversos territorios y para la preservación del medio ambiente.

Debido al rápido desarrollo económico que experimentó Chile entre 1990 y 2020, el país exhibe una situación diametralmente distinta de la observada hace un cuarto de siglo en materia de oferta y demanda de agua. El PIB del país ha crecido más de tres veces desde el año 1990 a la fecha (Unesco, 2019), mientras que el consumo de agua ha aumentado casi en la misma proporción (Pizarro et al, 2021). Esta relación parece no ser sustentable a futuro, especialmente si se consideran los impactos del cambio climático en cuanto a agudización y prolongación de sequías en ciertas zonas del país (Bellisario et al., 2013).

No obstante lo anterior, según el primer Informe de la Mesa Nacional del Agua (2020) en promedio, Chile puede considerarse como un país privilegiado en materia de recursos hídricos. La escorrentía media total estimada para Chile es de 29,245 m³/s, lo cual equivale a 51,281 m³/persona/año (DGA, 2016), mayor a la media mundial de 6,600 m³/persona/año, y muy superior al umbral para el desarrollo sostenible estimado en 2,000 m³/persona/año (Banco Mundial, 2011). Sin embargo, a lo largo del país la disponibilidad hídrica varía significativamente.

Desde la Región Metropolitana al norte prevalecen condiciones de escasez y la escorrentía per cápita está por debajo de los 500 m³/persona/año, mientras que desde la Región de O'Higgins hacia el sur se superan los 7,000 m³/persona/año, llegando a un valor de 2,950,168 m³/persona/año en la Región de Aysén.

Chile posee 101 cuencas hidrográficas que incluyen 1,251 ríos y 12,784 lagos y lagunas. A ellas se suman 24,114 glaciares, los que aportan escorrentía durante los periodos de estiaje. Se han identificado 137 acuíferos y 375 sectores hidrológicos de aprovechamiento a lo largo del territorio nacional, de los cuales un 47% se encuentra bajo medidas administrativas de restricción o prohibición de uso de agua. En términos generales existe un bajo conocimiento del grado de interconexión de los acuíferos y su relación con los cuerpos de agua superficiales, su extensión vertical y horizontal y la magnitud de su recarga sostenible a largo plazo.

En el contexto actual de escasez hídrica cuasi estructural y de cambio climático, del cual no se tiene total certeza de su verdadera magnitud a futuro, el cierre de la brecha entre oferta y demanda por agua se hace no sólo difícil, sino que también incierto. No hay certeza respecto de la dinámica del ciclo hidrológico en el horizonte de las próximas décadas, particularmente acerca de la magnitud y variabilidad de las precipitaciones, la acumulación de nieve y la recarga a los acuíferos. En este escenario aparece como muy pertinente mirar a una fuente de agua relativamente abundante y regular como son los océanos. El avance en la tecnología de desalación ha hecho posible en años recientes la construcción y operación de plantas en Chile que son fuentes de abastecimiento para consumo humano y para actividades mineras, a costos que las hacen viables económicamente.

Al mismo tiempo que el agua es necesaria para el desarrollo de diversas actividades económicas, la creciente urbanización presiona para asegurar su abastecimiento para consumo humano y en algunos sectores de rápido desarrollo inmobiliario para aumentarlo. En consecuencia, actualmente se observan situaciones de conflictividad al interior de varias cuencas, las cuales podrían agravarse a futuro por los efectos del Cambio Climático.

Desde la década de 1980, la gestión del agua en Chile ha estado basada en políticas de libre mercado, en lo que muchos consideran como un sistema único en el mundo (Bauer, 2015). El sistema de asignación se basa en la idea de utilizar al mercado como un asignador

óptimo de un recurso escaso como el agua. Un requisito esencial para el funcionamiento de tal sistema es que las cuotas para el uso del agua puedan ser transadas independientes del objetivo de su uso y de la propiedad de la tierra u otros bienes. El Código de Aguas de 1981 implementa el concepto de derechos de aprovechamiento de agua que cumplen con esos requisitos. En principio, bajo un mercado ideal, tal sistema presenta algunas ventajas que lo hacen atractivo, tales como: incentivo al cuidado y a mejorar la eficiencia en el uso del agua, además de maximizar la rentabilidad económica y social por su uso. En la práctica, diversos análisis del funcionamiento del mercado del agua han concluido que su funcionamiento dista de ser ideal debido a varios factores, lo que ha resultado en malas prácticas, tales como la especulación. Además, han existido diversos casos en que la regulación actual ha dificultado el desarrollo de técnicas modernas de gestión del agua, tales como la recarga artificial de acuíferos y la reutilización de aguas servidas tratadas. Esto ha motivado la revisión del Código de Aguas de 1981, lo cual ha resultado en varias reformas que, entre otras cosas, han implementado el cobro de patente por no uso de derechos otorgados. La discusión de los últimos años en torno a las normas que regulan la gestión del agua ha introducido un elemento de incertidumbre que ha dificultado la búsqueda de alternativas de solución al problema de escasez hídrica que afecta a gran parte del territorio nacional.

El desafío que tiene el país para cerrar las brechas entre la oferta y demanda efectivas de agua, dependerá de si las autoridades se hacen cargo del tema diseñando políticas públicas que aumenten la disponibilidad de agua, especialmente en la zona norte y centro norte del país, por ejemplo fortaleciendo la reciente tendencia de construcción de plantas desaladoras. Por otra parte, también existe la posibilidad de disminuir las brechas, implementando políticas que fomenten la disminución de la demanda futura de agua, por ejemplo, mediante la modernización de instituciones, mejora y tecnificación de sistemas de riego, implementación de nuevas tecnologías de captura y reutilización de agua y cambios de cultivos, entre otros.

Este documento tiene como objetivo contribuir a una discusión informada de los desafíos relacionados a los recursos hídricos que enfrenta Chile para el siglo XXI, presentando un análisis de los principales desafíos actuales y de mediano plazo que enfrenta o podría enfrentar el país en cuanto a los recursos hídricos. También incluye un resumen de los mecanismos de gestión actualmente vigentes y de la normativa que

regula la asignación de derechos de aprovechamiento del agua. Como complemento incluye una sección que presenta una visión general de la problemática de calidad del agua en Chile y el mundo. Finalmente, presenta un análisis crítico de las principales alternativas que existen para solucionar los problemas de escasez hídrica con una perspectiva de 20 a 30 años.

La versión final de este documento incluye comentarios y observaciones expresadas durante un taller efectuado en enero de 2023, al cual asistieron diversas personas relacionadas a los recursos hídricos. Los autores agradecen a los participantes en dicho taller por sus comentarios que creemos ayudaron a mejorar este análisis. En particular, agradecen los comentarios y contribuciones de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos, algunos de cuyos comentarios fueron incorporados al texto y otros han sido insertadas como notas a pie de página en distintas secciones de este documento.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso natural más importante debido a que es esencial para la vida humana, los ecosistemas y el desarrollo de casi todas las actividades económicas. Lograr seguridad hídrica, entendida como la capacidad de asegurar la disponibilidad de una cantidad aceptable de agua con calidad adecuada para el consumo humano, asegurar la higiene y la salud pública, permitir la producción agrícola, asegurar la preservación de ecosistemas y actividades productivas; ha sido desde siempre un objetivo de las sociedades humanas. Contar con suministro de agua en cantidad y calidad suficiente, también ha demostrado ser un requisito para el desarrollo económico de países (Grey y Sadoff, 2007). Se estima que el crecimiento económico que ha tenido Chile durante las tres últimas décadas ha significado un aumento significativo de la demanda por agua (Pizarro y otros, 2021).

Por sus características geográficas y la diversidad de climas que existen en Chile, el asegurar la disponibilidad de una cantidad suficiente de agua ha sido reconocido desde la conquista española e incluso durante el período prehispánico como un elemento de vital importancia. Durante los últimos años, la ocurrencia de una de las peores sequías de que se tenga registro (Garreaud y otros, 2017), la cual ha afectado principalmente la zona central del país donde se concentra más del 60% de la población, ha incrementado el interés por garantizar la

disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente, y por optimizar su uso.

La importancia del agua para el desarrollo del país se ve reflejado en la existencia de un Código de Aguas que data de 1948, posteriormente reemplazado con la promulgación del de 1951 y, finalmente, el de 1981, el cual fue modificado en 2022 después de una larga discusión parlamentaria (El Mostrador, 2022). Por otra parte, la discusión en torno al derecho al agua y la propiedad sobre esta fue un tema importante en el quehacer de la Convención Constitucional que elaboró la propuesta para una nueva Constitución, la cual fue rechazada mediante referendo (Bíobío Chile, 2022).

Dado el interés que los temas relacionados al agua tienen actualmente en la agenda pública, creemos necesario proporcionar elementos técnicos que permitan a autoridades políticas que deben opinar y/o tienen responsabilidad sobre estas materias, contar con elementos que le permitan tomar una decisión informada y que propenda al bienestar general. Adicionalmente, este documento pretende ser una recopilación sucinta de información relacionada al agua que se ha generado por entidades nacionales o ha sido publicada en distintas fuentes internacionales, la cual es útil para pensar en los desafíos relacionados a los recursos hídricos que deberá sortear Chile durante el presente siglo.

La estructura de este documento fue concebida para brindar una visión global del problema a personas sin ningún conocimiento previo respecto del tema. En particular, la siguiente sección revisa algunos conceptos básicos de hidrología y define algunos términos técnicos necesarios para comprender la problemática que significa el uso y manejo de los recursos hídricos, y al mismo tiempo permite poner en un contexto general los problemas que se presentan en Chile respecto a este tema, los cuales son discutidos en las siguientes secciones.

2. EL AGUA COMO RECURSO NATURAL

2.1 El ciclo del agua

El agua que puede ser utilizada de forma natural proviene de las precipitaciones en forma de lluvia y nieve. Una parte significativa del agua que precipita se evapora o es utilizada por árboles y plantas en lo que se denomina evapotranspiración. La fracción restante del agua que precipita, infiltra hacia los acuíferos o escurre de forma superficial hasta ríos y lagos. A esta última fracción se le denomina escorrentía superficial, cuya magnitud depende de la cantidad de las

precipitaciones y la superficie sobre la cual estas ocurren, además de las tasas de evaporación e infiltración. En el norte de Chile donde se registra gran radiación solar y las precipitaciones ocurren a gran elevación, la mayor parte de las precipitaciones (> 95%) evapora (DGA, 1988). En otras condiciones naturales, el agua que precipita termina descargando a los océanos, evaporando, o siendo almacenada en sistemas de agua subterránea que cuenten con capacidad de almacenamiento disponible. En condiciones naturales, es decir sin extracciones de ningún tipo, y considerando un largo plazo (a la escala de siglos o milenios), todos los sistemas de agua subterránea alcanzarían un equilibrio, tal que no existiría capacidad de almacenamiento disponible (Bredehoeft, 2002).

El agua que infiltra y se almacena en acuíferos puede permanecer en ellos por largo tiempo a la escala de siglos. Por su gran capacidad de almacenamiento, el agua subterránea representa el mayor volumen de agua dulce disponible en el planeta después de las capas de hielo polares (Freeze y Cherry, 1979). A modo de comparación se estima que el agua subterránea representa aproximadamente 30% de las reservas de agua dulce, mientras que los cuerpos de agua continentales (ríos, lagos y otros) representan menos del 1%. En algunas zonas áridas del mundo se ha llegado a determinar que las aguas subterráneas almacenadas en acuíferos precipitaron hace más de 10,000 años, por lo que se las considera fósiles (Freeze y Cherry, 1979). Por lo tanto, los sistemas de agua subterránea representan embalses naturales que permiten regular la cantidad de agua disponible a la escala de largos períodos de tiempo. Existe evidencia de que, a tal escala de tiempo, del orden de miles de años, se han producido importantes variaciones en los patrones climáticos de varias regiones del planeta, como por ejemplo las glaciaciones que han tenido ciclos de aproximadamente 10,000 a 40,000 años (Svenning y otros, 2015).

2.2 Aguas superficiales y subterráneas

Para el análisis y la cuantificación de los recursos hídricos, es habitual dividir los sistemas hidrológicos en una componente superficial (ríos, lagos y otros cuerpos de aguas menores) y una componente subterránea (acuíferos). Por ejemplo, el artículo 2 del Código de Aguas de 1981 establece que “Las aguas terrestres son superficiales o subterráneas”. Sin embargo, tal separación no ocurre en la realidad dado que siempre existen conexiones entre las componentes superficiales y subterráneas, por ejemplo, a través de la infiltración de agua desde ríos y lagos que recargan

acuíferos o, a través de flujo de agua subterránea que alcanza los ríos, lo cual permite que agua fluya a lo largo de estos incluso durante períodos en que no ocurren precipitaciones. Existe evidencia empírica recolectada en distintas cuencas de Chile y el mundo de que la comprensión de la interacción entre agua superficial y subterránea es vital para entender el funcionamiento de los sistemas hidrológicos y para asegurar un manejo óptimo de los recursos hídricos (DGA, 2019).

El agua superficial es relativamente fácil de cuantificar y observar de forma dado que el acceso a los cuerpos que la alojan es directo. En cambio, el agua subterránea es mucho más difícil de cuantificar y observar, en particular, cuando se encuentra alojada en acuíferos profundos o que se encuentran en material geológico que por su composición dificulta el acceso, por ej. rocas metamórficas o ígneas. En general, el origen del agua superficial que se aloja en cuerpos continentales (ríos y lagos) puede remontarse a días o semanas, mientras que el agua que se aloja en acuíferos puede haber precipitado hace siglos o incluso milenios (Gleeson y otros, 2016). Por lo que, los acuíferos actúan como sistemas de embalses naturales que permiten almacenar agua a la escala de décadas, siglos o incluso mayores. Tales escalas de tiempo son muy superiores a las escalas de tiempo que normalmente se consideran en la toma de decisiones políticas o productivas. Aunque existe evidencia arqueológica sobre la utilización de agua subterránea desde hace milenios en la antigua Mesopotamia y otras regiones de Medio Oriente, la explotación de acuíferos de forma intensiva se remonta a los últimos 70 años. Las tasas de extracción de agua subterránea actuales han generado un descenso considerable de los niveles de acuíferos en distintas regiones del planeta, y por lo tanto se estima que no serían sustentables en el mediano o largo plazo, toda vez que la recuperación de sus niveles requiere muchos años en que las condiciones climáticas y de extracción de agua subterránea permitan una recarga neta positiva (Gleeson y otros, 2020).

El aprovechamiento del agua superficial puede realizarse a través de obras de menor envergadura y de forma directa, por ejemplo, mediante la construcción de aducciones o compuertas menores que permiten desviar parte del flujo de ríos o canales utilizando solo métodos gravitacionales sin el uso de energía adicional. Por el contrario, la explotación del agua subterránea requiere la construcción y operación de sistemas compuestos de pozos que pueden ser difíciles de construir y pueden requerir una cantidad considerable de energía para la operación de sistemas

de impulsión mediante bombas, particularmente para pozos relativamente profundos, por ej. con profundidad superior a 100 metros.

El cálculo de la tasa de extracción sustentable desde cuerpos superficiales es relativamente simple mediante un cálculo similar al balance financiero de una empresa, si existe información que permita estimar las entradas de agua a esos sistemas. Por el contrario, el cálculo de la tasa de extracción sustentable desde acuíferos es considerablemente más compleja debido a que la extracción de agua subterránea necesariamente requiere generar una respuesta dinámica del acuífero, la cual solo puede ser evaluada mediante modelos relativamente sofisticados de su funcionamiento, cuyo desarrollo y operación requiere recopilar considerable información respecto de las propiedades de dichos sistemas, la cual no es siempre posible de obtener (Bredehoeft, 2002). Lo anterior, ha resultado en que en muchas zonas los acuíferos sean sobreexplotados o que la verificación de la sustentabilidad de esas extracciones sea, al menos, difícil o controversial (Konikow y Kendy, 2005). Dado que la extracción de agua subterránea necesariamente requiere disminuir el volumen inicial de agua embalsada en los acuíferos explotados, se han propuesto distintos criterios para evaluar y garantizar la sustentabilidad de las extracciones. Por ejemplo, la Dirección General de Aguas en Chile ha establecido que solo un 5% del volumen inicialmente embalsado en acuíferos puede ser extraído durante los primeros 50 años desde que se han iniciado las extracciones para que un acuífero sea considerado sustentable (DGA, 2008).

En otros lugares, se han establecido criterios menos restrictivos en cuanto al volumen de agua subterránea que puede ser extraído desde el volumen inicialmente embalsado en base a un criterio o política de gestión de los recursos de agua subterránea que considera a estos como recursos no renovables, en lo que se ha denominado minería del agua subterránea (“groundwater mining”) (Custodio y otros, 2017).

Bajo tal criterio se acepta que la extracción de agua subterránea desde un determinado acuífero tiene una duración limitada debido al descenso continuo del nivel freático y al agotamiento de pozos, y que la recuperación del volumen de agua inicialmente embalsada requerirá de un período de tiempo tan prolongado que, para efectos prácticos, se puede considerar como un recurso no renovable.

2.3 Glaciares

Los glaciares son una importante reserva de agua que contribuye a la regulación de caudales (Jara y Casassa, 2021). Para el caso de Chile, en los últimos 30 años, los patrones de retroceso y adelgazamiento glaciar se han acelerado, fenómeno que sería explicado por el calentamiento de la atmósfera durante el siglo XX y las primeras décadas del XXI (BCN, 2016). Esto es especialmente significativo en la zona central de Chile, dado que una parte importante de los cauces que abastecen el consumo humano en la región son alimentados principalmente por el derretimiento durante el verano de glaciares que se ubican en los Andes (Jara y Casassa, 2021). En la situación actual con varios años de déficit de precipitaciones en la zona central de Chile, las reservas de agua en los glaciares cobran aún mayor relevancia (Garreaud y otros, 2017).

El inventario más reciente de glaciares en Chile utilizado por la DGA estima la existencia de alrededor de 24,005 glaciares, con un área total cercana a los 24,000 km² de superficie. La singularidad geográfica del país, debido a su extensión latitudinal, su diversidad de climas y la presencia de las altas cumbres de los Andes resulta en una diversidad de glaciares. También existe una amplia variedad de glaciares dependiendo de su extensión. Generalmente se considera una extensión mínima 0.01 km² (1 ha) para ser incluidos en inventarios (UNESCO, 1970), sin embargo, también se reconoce la existencia de glaciares de menor tamaño (Jara, 2020). Los glaciares del Norte Grande son en su mayoría pequeños y están ubicados a gran altitud por sobre los 6,000 msnm, mientras que en el Norte Chico no se encuentran formaciones glaciares de importancia debido a la menor altitud de las cumbres andinas que resulta en temperaturas más elevadas que no permiten la acumulación de agua en forma de hielo o nieve. En la zona Central del país, existe un gran número de glaciares debido a la gran elevación de las cumbres cordilleranas que sobrepasan los 6,000 msnm resultando en una disminución de la temperatura y un aumento de las precipitaciones en forma de nieve y hielo. Es así como las cuencas del río Aconcagua, Maipo y Rapel, incluyen más de 1,300 glaciares que en su conjunto tienen una superficie total de 900 km² (BCN, 2016). Sólo el río Maipo, cuya cuenca abarca una superficie de 15,304 km², atiende cerca del 70% de la demanda actual de agua potable de la Región Metropolitana y casi el 90% de la demanda para regadío (DGA, 2004). En la zona Centro-Sur del país desde el Maule a Valdivia se ubican cerca de 300 glaciares con una superficie total de 400 km². Más al sur se registran pocos glaciares debido a la

disminución en la elevación de los Andes, exceptuando los glaciares ubicados alrededor de conos volcánicos. En contraste, la zona Austral incluye los más extensos campos de hielo del Hemisferio Sur, los cuales incluyen más de 70 glaciares principales y totalizan una superficie de 17,000 km². En el extremo Sur del país, la mayor concentración de glaciares se ubica en la cordillera de Darwin en Tierra del Fuego, con una superficie de hielo de 2,000 km² (BCN, 2016).

El rol que los glaciares ocupan en las distintas dinámicas naturales y ecosistémicas es esencial, ya que gran parte de los ríos que se ubican en cuencas donde existen glaciares de importancia son de régimen controlado por la componente nivo-glaciar, es decir, la mayor parte del agua se origina en zonas altas de las montañas debido al derretimiento de nieve y hielo (Segovia, 2015; Jara, 2020).

2.4 Calidad del agua

El concepto de seguridad hídrica requiere la capacidad de proveer una cantidad suficiente de agua con una calidad adecuada para su uso. Naturalmente el agua presenta distinta calidad dependiendo de su origen y el recorrido que tenga desde que precipita hasta que es captada. Por ejemplo, en el caso de Chile y otros países el agua en algunas localidades presenta altas concentraciones de arsénico (As) que no la hacen apta para el consumo humano (Ferreccio y otros, 2000; Ferreccio y Sancha, 2006; DGA, 2020). En el caso del agua subterránea la calidad depende en gran medida en el tiempo durante el cual el agua ha estado en contacto con los sedimentos o la roca que la alojan. El contacto entre el agua y la roca durante períodos prolongado de tiempo permite la disolución de minerales, lo que aumenta de forma considerable la salinidad del agua y las concentraciones de algunos componentes que pueden ser nocivos para su uso en agua potable, o incluso en riego o la crianza de animales. Dado que el agua subterránea que se aloja en acuíferos profundos es en general más antigua, frecuentemente se observa un aumento de la salinidad y un deterioro de la calidad con la profundidad. Acuíferos que se ubican a más de 200 o 500 metros de profundidad tienden a ser salinos y, en algunos casos, pueden alojar aguas que tienen niveles de salinidad muy superiores al agua de mar, las cuales se denominan salmueras.

Por otra parte, el desarrollo económico y la creciente industrialización de las actividades económicas que genera la producción de elementos contaminantes que eventualmente alcanzan los cursos de agua superficial y los acuíferos, han generado una creciente contaminación del agua con un consiguiente deterioro

de su calidad (Schwarzenbach et al., 2010). En algunos países la gravedad de la contaminación y el alto número de sitios catalogados como contaminados han motivado la creación de programas especiales de remediación (limpieza) que han involucrado inversiones de miles de millones de dólares, por ej. el *Superfund Site Program* en EEUU (EPA, 2022). La magnitud de la contaminación de agua en la mayoría de los países está menos estudiada y no existe información que permita dimensionar el problema, ni definir medidas de acción al respecto. Sin embargo, la experiencia internacional indica que la contaminación del agua es un problema creciente que es difícil y costoso de solucionar una vez que ocurre, y que la necesidad de remoción de compuestos químicos sintéticos que son difíciles de degradar por el medio ambiente, conocidos como compuestos persistentes, tales como sustancias que se incluyen en productos de cuidado personal y farmacéuticos (*personal care products and pharmaceutical*, PCPP), están creando un nuevo desafío para los sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales (Daughton y Ternes, 1999). La presencia de dichos componentes en los efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas genera un nuevo riesgo para el medio ambiente y los cuerpos de agua que los reciben. Como resultado de la creciente contaminación de origen antrópico, la tendencia en países desarrollados ha sido poner el foco de manera progresiva en la calidad del agua. Es probable que se observe una tendencia similar en Chile durante el resto de este siglo de continuar avanzando hacia niveles de desarrollo equivalentes, como ha ocurrido durante las últimas tres décadas.

2.5 El Cambio climático

En diversos lugares del planeta se han observado cambios en el clima durante el último siglo que se atribuyen a la actividad antrópica, los cuales se han acelerado durante las últimas tres décadas (IPCC, 2021). A este fenómeno llamado Cambio Climático (CC) se le han atribuido cambios en los patrones de precipitaciones en varias regiones del mundo y un mayor número e intensidad de sequías. Además, se ha registrado un aumento continuo y significativo en la temperatura media en distintos regiones del planeta lo que ha resultado en el incremento del nivel del mar debido al derretimiento de grandes masas de hielo polares, el aumento del derretimiento del permafrost en regiones árticas con la consiguiente liberación de metano y otros gases de efecto invernadero, el derretimiento de glaciares y la disminución de la capa de hielo en los polos durante gran parte del año con la consiguiente apertura de nuevas rutas marítimas. Se considera que todos esos procesos son muestras de

cambios que ya se están produciendo a la escala global, y que no podrán ser revertidos sino hasta dentro de varios siglos o quizás milenios (IPCC, 2021).

En Chile, la combinación de aumento de temperatura y disminución de precipitaciones ha dado como resultado un aumento en la altura de la línea de nieves o isoterma cero, lo que se traduce en que existe una menor área de la cordillera donde puede acumularse nieve y hielo (Carrasco, et al. 2011). En combinación con los cambios del clima, se estima que existen otros factores antrópicos que están incidiendo en el acelerado derretimiento de los glaciares de la zona central. Entre las actividades que se mencionan, la gran minería que se ubica en la cordillera en la zona central de Chile por el tamaño de sus operaciones y su carácter disruptivo en cuanto a la modificación del relieve natural, la producción de polvo debido al movimiento de roca, su consumo de agua y producción de residuos a gran escala; representa un caso único a nivel mundial que ha sido estudiado sólo recientemente (Brenning, 2008; Brenning y Azocar, 2010). Se considera que tal tipo de actividades junto a los cambios en el clima, han mermado el equilibrio de los regímenes hidrológicos con la consiguiente variabilidad en la disponibilidad de agua para la mantención de ecosistemas, el consumo humano y el desarrollo sustentable de actividades productivas, entre otras (Jara y Casassa, 2021).

Se espera que la pérdida de masa de los glaciares, el deshielo del permafrost y la disminución del manto de hielo a escala mundial, continúen en el corto plazo (2031-2050), debido a los aumentos de la temperatura media de la atmósfera. Esto provocará consecuencias para la escorrentía de aguas fluviales, previéndose que el promedio de escorrentía anual y estival procedente de los glaciares alcanzará su nivel máximo hacia fines del siglo XXI o antes, lo que representa un peligro real para la seguridad hídrica de distintas localidades (IPCC, 2020).

En un escenario de cambio global del clima como se observa actualmente, conviene recordar que el consumo de agua en el mundo se ha multiplicado por seis en los últimos 100 años, y continúa aumentando a un ritmo constante de un 1% cada año debido al crecimiento demográfico, al desarrollo económico y al cambio en los patrones de consumo (UNESCO, 2020). Por lo tanto, los cambios en el ciclo hidrológico inducidos por el cambio climático implican mayores riesgos para la sociedad, no sólo directamente sino también indirectamente, por riesgos en la producción de energía, la seguridad alimentaria, el desarrollo

económico y la desigualdad social entre otros (UNESCO, 2020). En este marco, Chile es uno de los países en que se observa un alto nivel de vulnerabilidad hídrica, la cual podría tener graves consecuencias para su desarrollo a mediano y largo plazo. Según el informe del Instituto de Recursos Mundiales (*World Resources Institute*, 2015), Chile se posiciona actualmente en el lugar 18 de los 167 países considerados en el estudio con mayor estrés hídrico. Y más preocupante aún, el mismo estudio estima que Chile será uno de cuatro países que podría verse enfrentado a una situación de estrés hídrico extremo hacia el 2040.

3. ABASTECIMIENTO DE AGUA EN CHILE

3.1 Actual: Oferta y demanda

La cantidad de agua superficial disponible en Chile depende fundamentalmente de dos factores: la latitud y la topografía, debido al efecto orográfico que genera la Cordillera de los Andes que facilita la precipitación de la humedad que proviene del Océano Pacífico en la Zona Central y origina el Invierno Altiplánico en el norte como producto de las masas de aire húmedo provenientes del sur de Brasil y Paraguay. La disponibilidad de agua aumenta de forma significativa de norte a sur, desde el desierto más árido del planeta a algunas de las zonas con mayores precipitaciones ($> 3,000$ mm/año). Tal variedad en clima y paisajes es sólo comparable a lo que ocurre en Argentina y en menor medida al caso de EEUU. Como referencia la extensión longitudinal de Chile ($> 4,000$ km) es comparable a la distancia que separa el extremo norte de Noruega y el extremo sur de Italia. El gran contraste del clima entre las distintas regiones de Chile genera una gran variabilidad en las precipitaciones y la cantidad de agua disponible por habitante dependiendo de la zona del país (Tabla 3.1).

Los valores promedio de escorrentía estimados para las distintas regiones varían entre menos de 1 m³/s a más de $10,000$ m³/s, lo que resulta en variaciones de la disponibilidad hídrica por habitante entre 0.001 l/s/hab en la Región de Antofagasta a más de 90 l/s/hab en la Región de Aysén. Al norte de Santiago la disponibilidad hídrica es inferior a 800 m³/hab/año (Banco Mundial, 2011). Transversalmente, las precipitaciones aumentan desde la costa hacia las grandes elevaciones de Los Andes.

Esto es particularmente importante en el extremo norte, donde las precipitaciones en la costa son inferiores a 5 mm/año, pero pueden alcanzar a más de 400 mm/año en el Altiplano. Las tormentas que

ocurren fundamentalmente durante los meses de verano en el Altiplano son la fuente del agua superficial que existe en valles como los de Azapa y Lluta donde se concentra gran actividad agrícola. En la zona central desde la Región de Atacama hasta la del Biobío, las precipitaciones en forma de nieve en la cordillera posibilitan la acumulación de agua durante el invierno que es lentamente liberada durante los meses de verano, lo cual ha sido históricamente un elemento clave para el desarrollo de la agricultura y ciudades en esa zona donde se concentra el 80% de la población.

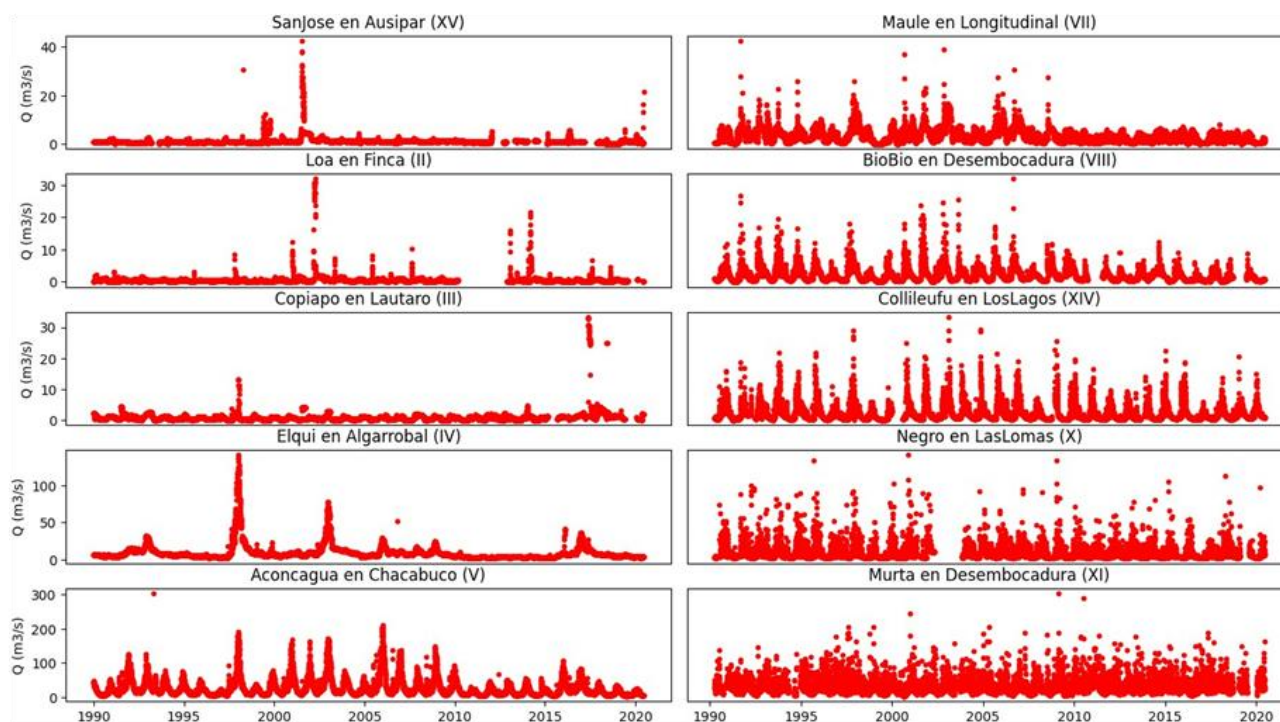
Además del aumento de la cantidad de agua superficial de norte a sur, existe una diferencia importante en cuanto a la distribución temporal de las precipitaciones y, por ende, de los caudales de los ríos como se muestra en la Figura 3.1. En el Norte hasta la IV Región inclusive, las precipitaciones muestran una gran variabilidad interanual con pocos años con precipitaciones importantes separados por varios años con poco o nula precipitación, lo cual es característico de climas áridos o semi-áridos. Más hacia el Sur, las precipitaciones anuales son más uniformes, lo que permite estimar la disponibilidad de agua superficial con menor nivel de incertidumbre. Sin embargo, desde alrededor del 2010 se ha registrado un marcado descenso en las precipitaciones y caudales de los ríos de la zona central desde la IV Región hasta la zona de Valdivia como consecuencia de la sequía que la ha afectado (Garreaud, 2017).

La variabilidad climática y la mayor disponibilidad de agua se reflejan en la distribución de la población del país como se muestra en la Figura 3.2, la cual también resume la escorrentía superficial promedio por habitante en las distintas regiones de Chile.

En la misma figura se muestra el umbral de seguridad hídrica por habitante definido por el Banco Mundial de $2,000$ m³/año/habitante para garantizar un desarrollo económico sustentable y en armonía con el medio ambiente. La cantidad de agua disponible como escorrentía superficial por habitante es inferior al umbral en todas las regiones al norte de la VI Región, y es particularmente bajo en la Región Metropolitana debido a la gran cantidad de población que habita en ella.

Tabla 3.1 Precipitación y escorrentía promedio por región. Datos tomados de Atlas del Agua 2016 (DGA, 2016).

Zona	No	Región	Superficie (km ²)	Poblacion Estimada 2015	Precipitación (mm/año)	Escorrentia (m ³ /s)*	Escorrentia (m ³ /s)	Disponibilidad Hídrica (l/s/hab) ⁺
NORTE	XV	Arica y Parinacota	16873	239126	132	6	37	0.023
	I	Tarapacá	42226	336769	77	6		0.019
	II	Antofagasta	126049	622640	45	1		0.001
	III	Atacama	75176	312486	82	2		0.006
	IV	Coquimbo	40580	771085	222	22		0.029
CENTRO	V	Valparaíso	16396	1825757	434	41	1116	0.022
	RM	Metropolitana	15403	7314176	650	103		0.014
	VI	O'Higgins	16387	918751	898	205		0.223
	VII	Maule	30296	1042989	1377	767		0.735
SUR	VIII	Bíobío [^]	37069	2114286	1766	1638	7834	0.775
	IX	Araucanía	31842	989798	2058	1041		1.052
	XIV	De los Ríos	18430	404432	2656	1046		2.586
	X	De los Lagos	48584	841123	3068	4109		4.885
AUSTRAL	XI	Aysén	108494	108328	3263	10134	20258	93.549
	XII	Magallanes	132297	164661	2713	10124		61.484
TOTAL			756102	18006407		29245	PROMEDIO	11.027
⁺ Umbral seguridad hídrica (Banco Mundial, 2011): 0.063 (l/s/hab) (2000 m ³ /año/hab)								
[*] Cifras por región similares a los reportados en Cuadro 10 de MISP, 2015								
[^] Cifras incluyen la recientemente creada Región de Ñuble								

**Figura 3.1** Caudal medio diario en distintos ríos a lo largo de Chile (10 Regiones) para el período 1990-2021. Datos descargados desde el Explorador Climático del Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia disponible en <https://www.explorador.cr2.cl/>.

Estos datos indican que una parte importante del agua que se utiliza para consumo humano y actividades económicas en la zona en parte proviene de fuentes que no son superficiales como agua subterránea o, más recientemente, de plantas desaladoras que abastecen de agua algunas ciudades costeras y operaciones mineras (La Tercera, 2021). A diferencia de lo que ocurre en la zona centro-norte, la cantidad de agua superficial disponible en la zona centro-sur y sur de Chile excede con creces la cantidad considerada necesaria para un desarrollo sustentable. A modo de comparación y considerando que el objetivo de Chile

hacia fines de siglo debe ser compararse a países desarrollados como los que conforman la Unión Europea (EU), la misma Figura 3.2 incluye datos de densidad poblacional y agua disponible promedio en esa zona del planeta. Se observa que la cantidad promedio de agua disponible en Chile por habitante es bastante superior a la que existe en la EU, lo cual indica que, adoptando políticas de poblamiento y desarrollo adecuadas, el agua no debiera ser una limitante para el desarrollo económico especialmente en la zona centro-sur del país.

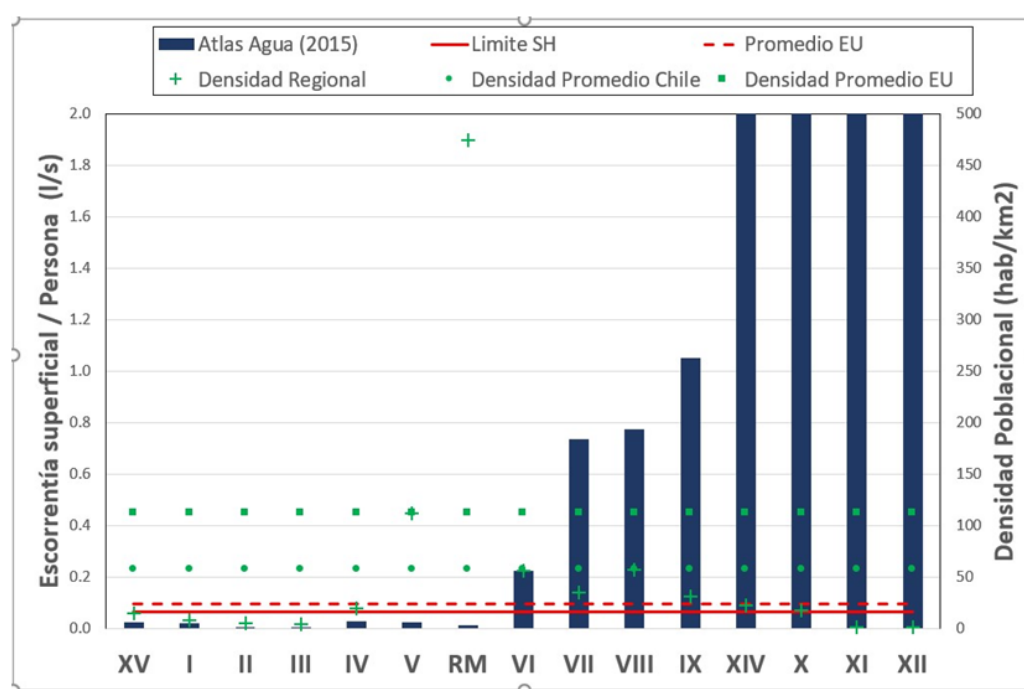


Figura 3.2 Escorrentía superficial por habitante y densidad poblacional (habitante/km²). Datos para cada región y promedio de Chile, y promedio para la Unión Europea (EU). Límite de seguridad hídrica (SH) corresponde a 2,000 m³/habitante/año (0.063 l/s/habitante) recomendado por el Banco Mundial (DGA, 2016).

Tal como la oferta de agua, la demanda por esta varía considerablemente entre las distintas regiones del país. En la medida que se avanza de norte a sur entre las regiones XV y VIII, la demanda por agua aumenta debido a la mayor actividad agrícola y a la mayor concentración de habitantes en las regiones centrales. Más al sur, la demanda baja a partir del Biobío donde las actividades son predominantemente ganadera y forestal, las cuales son extensivas y requieren menor cantidad de agua. Así, por ejemplo, más del 70% del agua en el país se consume entre las Regiones V y VIII, esto es entre los ríos Aconcagua y Biobío.

En el año 2017 el MOP-DGA efectuó una estimación detallada del consumo de agua, por uso y región, además de una proyección hacia el 2030 y 2040 (DGA, 2017b). El estudio consideró los siguientes usos principales de agua en el país, incluyendo productivos y no productivos: agua potable urbana, agua potable rural, agrícola, pecuario, forestal (plantaciones, bosque nativo y otras coberturas vegetales), acuícola, minero, industrial, generación eléctrica, turístico y protección ambiental. La Tabla 3.2 resume las estimaciones de demanda efectiva de agua.

Tabla 3.2 Consumo a nivel nacional de agua por sector y región (2015). (Fuente: MOP-DGA 2017)

Región	Nombre	DEMANDA CONSUNTIVA 2015 (Mm3/año)							
		APU	APR	AGR	PEC	MIN	IND	ELE*	TOTAL
XV	Arica y Parinacota	12.926	604	73.010	330	571	195	0	87.635
I	Tarapacá	21.698	337	17.087	106	51.534	4.387	0	95.149
II	Antofagasta	38.705	481	46.230	102	151.072	29.563	0	266.153
III	Atacama	17.005	689	140.215	239	39.950	15	0	198.114
IV	Coquimbo	39.496	6.214	462.090	1.470	41.967	4.742	0	555.979
V	Valparaíso	102.003	10.766	672.337	3.378	47.571	16.554	221.370	1.073.979
XIII	Metropolitana	659.893	11.570	1.269.824	18.226	23.442	38.468	37.166	2.058.589
VI	O'Higgins	43.074	28.524	1.723.417	17.479	70.721	12.276	66	1.895.558
VII	Maule	41.848	17.389	2.822.598	4.342	1	33.304	7.709	2.927.192
VIII	Biobío	100.744	12.189	475.978	2.117	31	350.470	194.400	1.135.928
IX	Araucanía	38.322	6.742	172.483	6.195	0	25.822	27.910	277.474
XIV	Los Ríos	16.118	7.316	5.457	7.201	0	75.491	2.640	114.223
X	Los Lagos	31.235	7.349	2.613	9.457	0	137.943	0	188.597
XI	Aysén	5.388	1.332	734	1.337	2.846	1.018	0	12.656
XII	Magallanes y Antártica	10.756	184	2.096	3.157	591	603	4.120	21.506
TOTAL NACIONAL		1.179.209	111.684	7.886.169	75.136	430.296	730.853	495.382	10.908.731

De la comparación de la oferta y demanda de agua en las distintas regiones del país, el estudio concluyó que existe un déficit hídrico entre la Región XV y la

Región Metropolitana que alcanzaba hasta el 36% en la RM el año 2011, como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Comparación de oferta y demanda de agua actual por región. Caudales en m3/s. Cifras de la VIII Región también incluyen a la recientemente creada Región de Ñuble (Fuente: MISP, 2015).

Región	Demanda Actual	Oferta Actual	Balance Actual
XV-I	16,7	11,9	-7,4
II	23,0	0,9	-22
III	16,7	1,9	-14,8
IV	35,0	22,2	-12,8
V	55,5	40,7	-27,4
RM	116,3	103,0	-35,6
VI	113,5	205,0	38,7
VII	177,1	767,0	442,5
VIII	148,0	1.638,0	1.249,1
IX	25,5	1.041,0	767,3
XIV-X	12,0	5.155,0	3.905,8
XI	24,9	10.134,0	8.284,9
XII	8,4	10.124,0	8.394,6
Total País	772,6	29.244,6	22.962,7

Fuente: DGA, 2011. Modernización del mercado de aguas en Chile.

La existencia en Chile de la obligatoriedad de contar con derechos de aprovechamiento de agua otorgados por la Dirección General de Aguas e inscritos en el Conservador de Bienes Raíces, posibilita efectuar otro análisis de la disponibilidad de agua en el país (*detalles sobre el sistema de otorgamiento de*

derechos, tipos de derechos, restricciones y otros detalles, son analizados en la Sección 4 sobre Normas y Gestión del Agua). Dado que se asume que el otorgamiento de derechos de aprovechamiento está sujeto a la existencia del recurso y a que su uso no conlleva daño sobre el medio ambiente o perjuicio a

terceros. En Chile existen 131,481 derechos de aprovechamiento oficialmente reconocidos por la DGA (DGA, 2022), de los cuales 117,872 son de carácter consuntivo, es decir de agua que es consumida y no puede ser posteriormente utilizada para otros fines (Tabla 3.4). Del total de derechos consuntivos, un 49% (58,226) son de agua subterránea. Los derechos de aprovechamiento consuntivo (*reportados en litros/segundo. Existen 17.351 derechos reportados en otras unidades, por ej, acciones, partes, regadores, etc.*) representan un caudal promedio anual de 2,085 m³/s, de los cuales 653 m³/s (31%) son de agua subterránea y 1,353 m³/s (65%) son de agua superficial (*para el resto de derechos de aprovechamiento, no se reporta tipo de fuente*) (Tabla 3.4). El total de derechos de uso consuntivos asignado corresponde a una dotación de agua por habitante de 3,652 m³/año/persona, la cual es casi el doble del umbral de seguridad hídrica recomendada por el Banco Mundial (*La propiedad de los derechos de agua se encuentra fuertemente concentrada dado que el 0.3 de los titulares de derechos poseen el 64.6% del caudal otorgado, mientras que el 56.4% de los otros titulares*

posee sólo el 0.7% del caudal otorgado (Comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos). El Anexo A contiene análisis adicional de la información disponible en el Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de la DGA (DGA, 2022).

La Figura 3.3 muestra la evolución de la suma de los caudales totales asignados como derechos de aprovechamiento versus el año de su inscripción en el Conservador de Bienes Raíces. Ambos tipos de derechos, superficiales y subterráneos, muestran un aumento sostenido con el tiempo, el cual ha sido particularmente rápido desde fines de la década de 1980 en el caso de los derechos superficiales y desde inicios del presente siglo en el caso de los subterráneos. El caudal total asignado ha crecido en más de cuatro veces entre 1990 y la actualidad, pasando de aproximadamente 500 a más de 2,000 m³/s. La evolución del caudal otorgado versus tiempo no muestra una tendencia clara de estabilización en el último tiempo.

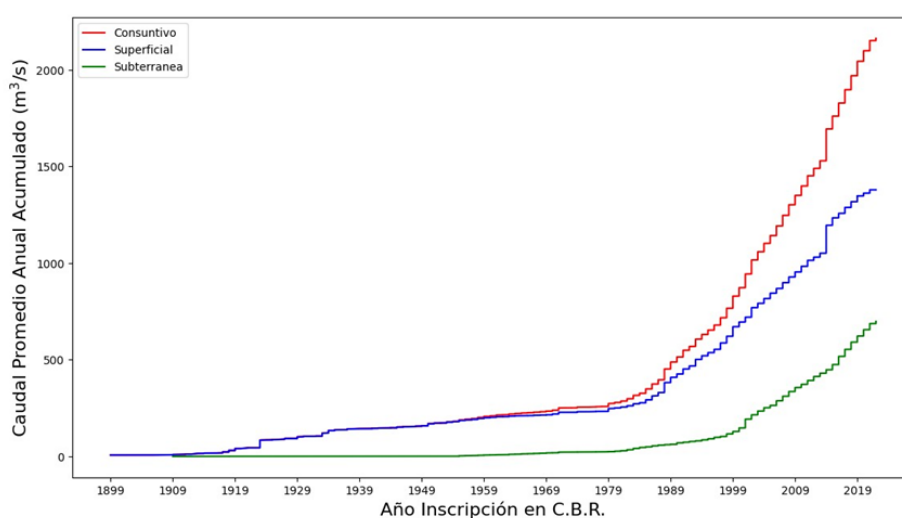


Figura 3.3 Caudal acumulado versus año de inscripción de los derechos de aprovechamiento en el Conservador de Bienes Raíces (C.B.R.) según el Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de la DGA (DGA, 2022).

La normativa chilena que regula el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de agua define algunas situaciones especiales que permiten regular el número y/o la utilización de los derechos, de tal forma de resguardar la sustentabilidad de los sistemas. En el caso del agua superficial, la normativa contempla la posibilidad de declarar zonas de agotamiento en aquellas zonas donde se estima que no existe agua

suficiente para otorgar nuevos derechos de carácter consuntivo y permanente. En zonas de agotamiento es posible constituir derechos de carácter no consuntivo o consuntivos de ejercicio eventual (DGA, 2016). Hasta agosto de 2015 se habían declarado un total de 11 zonas de agotamiento las cuales se listan en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Zonas de agotamiento hasta agosto de 2015. (Fuente: Tabla 3.1, Atlas del Agua, DGA, 2016)

Macrozona	Región	Nº Mapa	Nombre	Resolución DGA	Fecha Resolución	Área [km²]
Norte	II	1	Río Loa y sus afluentes	DGA 197	24-01-2000	33.081
	IV	2	Río Elqui y sus afluentes	DGA 72	09-02-2015	9.825
	IV	3	Río Grande, Río Limarí y sus afluentes	DGA 72	19-01-2005	11.696
	IV	4	Río Choapa y sus afluentes	DGA 1432	08-10-2004	7.653
Centro	V	5	Río Putaendo y sus afluentes	DGA 1278	13-09-2004	1.834
	V	6	Primera sección Río Aconcagua	DGA 209	22-05-1985	2.733
	RM	7	Primera sección Río Mapocho y sus afluentes	DGA 383	27-09-1983	1.071
	VI	8	Primera sección Río Tinguiririca y sus afluentes	DGA 80	16-03-1983	3.084
	VI	9	Estero Chimbarongo y sus afluentes	DGA 894	05-11-1999	849
Sur	VIII	10	Río Diguillín y sus afluentes	DGA 158	21-04-1994	1.504
	VIII	11	Río de La Laja desde sus nacientes	DGA 1858	25-08-1952	2.801
Total						76.131

En el caso del agua subterránea, se contempla la posibilidad de declarar áreas de restricción en aquellas zonas en que existe grave riesgo de descenso de los niveles o se demuestre que existe riesgo para la sustentabilidad del sistema acuífero. No existe posibilidad de otorgar nuevos derechos permanentes en áreas de restricción, pero si se pueden otorgar derechos de carácter provisional (DGA, 2016). También se contempla la posibilidad de declarar zonas de prohibición para proteger la sustentabilidad de un acuífero que se estime en riesgo. No es posible otorgar derechos permanentes o provisionales para zonas de

prohibición (DGA, 2016). Hasta 2010 se habían declarado 106 áreas de restricción y 6 zonas de prohibición entre la XV y VI Regiones, lo cual da cuenta de la intensidad de la explotación de las aguas subterráneas en la zona centro-norte del país y del potencial déficit de agua a futuro (Tabla 3.6). Se estima que esos 112 acuíferos se encuentran en situación de sobre otorgamiento, es decir, que el total de derechos de aprovechamiento otorgados excede a la recarga natural de esos sistemas. Las Regiones IV, V y RM tienen más de 20 acuíferos que se consideran en esta situación.

Tabla 3.6 Número de sectores declarados áreas de restricción o prohibición entre las Regiones XV y VI. (Fuente: Tabla 2.3, Banco Mundial, 2011)

Región	Área de restricción	Zona de prohibición	Total
I. Tarapacá	3	-	4
II. Antofagasta	3	-	3
III. Atacama	9	4	14
IV. Coquimbo	24	-	24
RM	24	-	24
V. Valparaíso	25	1	26
V. Valparaíso + RM	1	-	1
VI. Lib. Gral Bdo. O'Higgins	17	-	17
XV. Arica y Parinacota	-	1	1
Total	106	6	112

Fuente: Dpto. de Estudios y Planificación, DARH, DGA, 2010.

La Figura 3.4 muestra la disponibilidad hídrica por habitante al año calculada en base al total de los derechos de aprovechamiento consuntivos otorgados en cada región. Otras estimaciones aparecen en el informe del Banco Mundial de 2011 (Figura 2.1, Banco Mundial, 2011). Pueden existir algunas discrepancias o falta de información para las recientemente creadas regiones de Los Ríos (XIV), Arica y Parinacota (XV) y XVI (Ñuble). La disponibilidad hídrica promedio del país considerando sólo los derechos consuntivos es superior al límite de

seguridad hídrica (SH) de 2,000 m³/hab/año recomendado por el Banco Mundial (Banco Mundial, 2011). Sin embargo, la disponibilidad estimada es inferior a ese umbral recomendado en todas las regiones del norte incluido la Región Metropolitana, a excepción de la III y V Regiones donde los derechos subterráneos son superiores a los superficiales. El caso de la Región Metropolitana es particularmente preocupante dado a que la disponibilidad estimada en base a los derechos otorgados es comparable al de las regiones más áridas del país, y a que concentra más del

40% de la población y el 42% del PIB. En el resto del país, desde la Región de O'Higgins al sur, la disponibilidad estimada excede el umbral recomendado incluso si solo se consideran los derechos superficiales, los cuales son un mejor indicador de los recursos de agua renovables en el

corto y mediano plazo. Las Regiones de Atacama, Coquimbo y Valparaíso parecen especialmente dependientes de las fuentes de agua subterránea, las cuales por su naturaleza son más difíciles de cuantificar y monitorear.

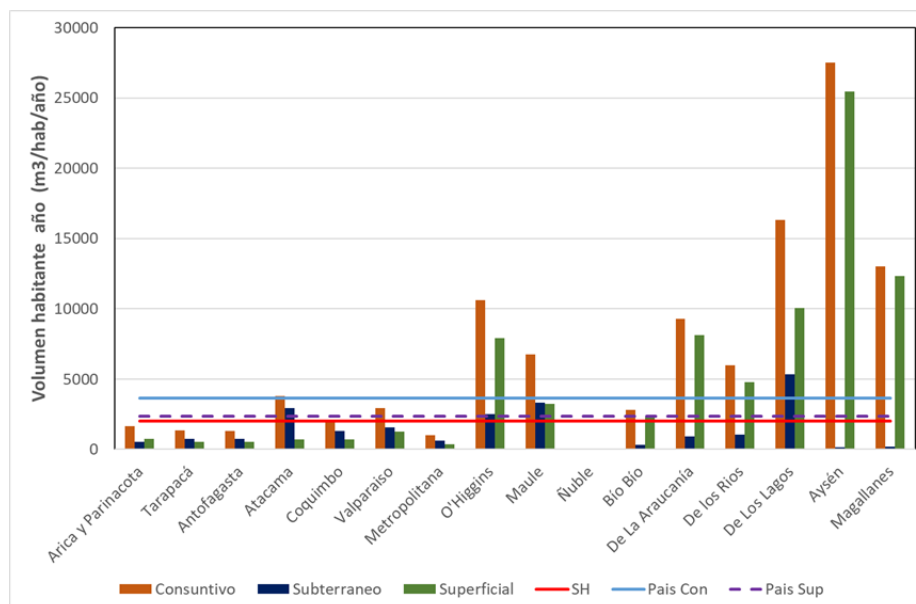


Figura 3.4 Volumen de agua disponible por habitante al año para las distintas regiones de Chile. Datos tomados desde el Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de la DGA (DGA, 2022).

Más del 80% del agua que se consume actualmente en Chile se destina a la producción agropecuaria (Tabla 3.7). El porcentaje restante se divide casi en partes iguales entre el abastecimiento de agua potable y la actividad industrial y minera. Estos porcentajes varían dependiendo de la fuente, por ejemplo, el Informe Nacional para los Recursos Hídricos (MISP, 2015), reporta una utilización inferior al 80% para el sector agropecuario y superior al 20% para el sector minero e industrial. Sin embargo, es claro que, de forma similar a la tendencia mundial, el sector agropecuario

es por lejos el mayor consumidor de agua en Chile. En contraste a lo que ocurre con el agua superficial, la cual se destina mayormente (>90%) a la producción agropecuaria y al sector industrial y minero, el abastecimiento de agua potable representa el 35% del uso de agua subterránea en el país, probablemente debido a que esta proporciona una mejor seguridad en cuanto al abastecimiento en épocas de sequía y una mejor calidad para el consumo humano, y a que el mayor costo de producción puede costearse con las tarifas que se aplican a los usuarios.

Tabla 3.7 Uso de agua en Chile según sector productivo en porcentajes

Sector	Aguas Superficiales ¹	Aguas Subterráneas ¹	Total ²
Silvoagropecuario	73	49	82
Agua potable y saneamiento	6	35	8
Industrial y minero	21	16	10
¹ Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015, MISP			
² Atlas del Agua Chile 2016, DGA			

La Figura 3.5 muestra el consumo de agua por sector productivo para cada región de Chile. Se diferencian de la tendencia a nivel país, la utilización de agua para actividades mineras en el norte, particularmente la II Región; la utilización para agua potable en las regiones de la zona central, especialmente la RM; y el consumo para actividades industriales en las regiones

que concentran la mayor población, V y RM, además de XII Región. El uso mayoritario de agua para el sector agropecuario ocurre en todas las regiones entre Copiapó por el norte y la Araucanía por el sur. La Figura 3.6 resume la demanda estimada como caudales medios por sector productivo para cada región del país.

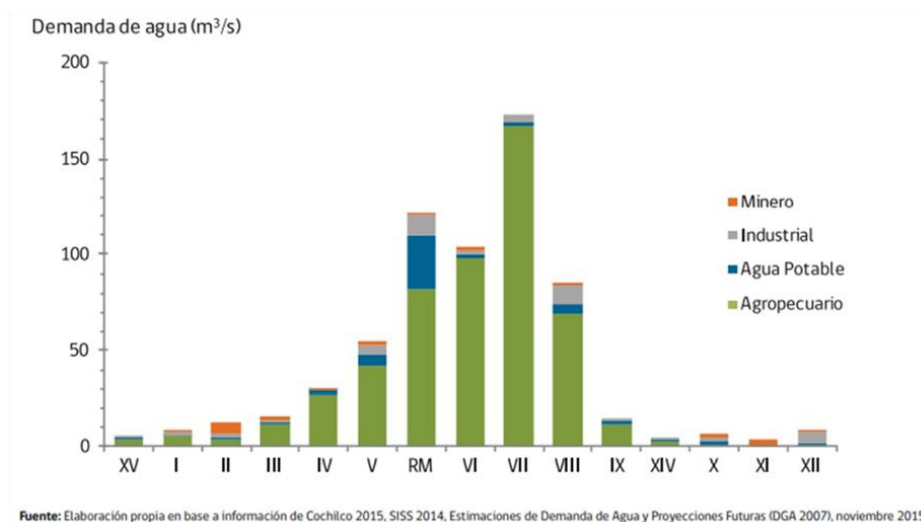


Figura 3.5 Distribución del consumo de agua por sector productivo para cada región de Chile. (Fuente: Figura 4.2, Atlas del Agua 2016, DGA, 2016)

Macrozona	Región	Agropecuario	Agua Potable	Industrial	Minero	Total [m³/s]
Norte	XV	3,71	0,96	0,25	0,00	4,92
	I	5,21	0,69	1,43	1,54	8,87
	II	3,31	1,68	1,29	6,26	12,54
	III	12,03	0,87	0,52	1,90	15,32
	IV	27,19	1,89	0,25	0,71	30,04
Centro	V	42,44	5,82	4,81	1,26	54,33
	RM	82,36	27,41	10,42	0,90	121,09
	VI	97,96	2,41	1,23	1,88	103,48
	VII	166,49	2,53	3,77	0,00	172,79
Sur	VIII	69,44	5,16	9,54	1,21	85,35
	IX	11,51	2,34	0,26	0,00	14,11
	XIV	2,21	1,02	1,63	0,00	4,86
	X	1,10	1,39	2,46	1,50	6,45
Austral	XI	0,64	0,29	0,08	2,60	3,61
	XII	1,12	0,38	5,91	0,23	7,64
		526,72	54,84	43,85	19,99	645,40

Fuente: Elaboración propia en base a información de Cochilco 2015, SISS 2014, Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras (DGA 2007), noviembre 2015

Figura 3.6 Demanda de agua por sector productivo para cada región. (Fuente: Tabla 4.28, Atlas del Agua, DGA, 2016)

La disponibilidad de agua en Chile central se ha visto fuertemente alterada por una disminución significativa

de las precipitaciones anuales de hasta 45% con respecto a un año normal desde alrededor de 2010.

Este período de sequía también ha provocado una fuerte disminución de los caudales de los ríos de hasta 90% en algunos casos, y una considerable disminución de la cobertura nival, probablemente provocada en parte por el aumento de la temperatura media durante los últimos decenios (Garreaud y otros, 2017). La ocurrencia simultánea de este conjunto de factores, la cual se ha denominado la mega-sequía de Chile Central, ha generado perturbaciones en las actividades económicas que dependen de la disponibilidad de agua, motivando la adopción de medidas tales como restricciones y racionamiento en la distribución de agua potable y/o la utilización de camiones aljibes para el transporte de agua hasta las zonas más afectadas (MISP, 2015). El descenso en la disponibilidad de agua como resultado de la sequía se ve reflejado en la evolución temporal del número de

declaraciones de zonas de escasez en la zona central de Chile (Tabla 3.8). La declaración de zona de escasez hídrica es un instrumento de gestión contemplada en el actual Código de Aguas que faculta al Presidente de la República para autorizar a la DGA por un período de hasta 6 meses, a gestionar los recursos de agua de un sector de forma excepcional, por ejemplo, permitir la extracción de agua superficial o subterránea sin la necesidad de constituir derechos, de tal forma de minimizar los daños ocasionados por la escasez de agua (DGA, 2016). De esta forma, la ocurrencia de la sequía de los últimos años ha significado que la gestión de los recursos hídricos de un número significativo de sectores del país se ha efectuado sin un estricto apego a la distribución normal del recurso mediante los derechos de aprovechamiento existentes.

Tabla 3.8 Número de declaraciones de zonas de escasez hídrica por región. (Fuente: Tabla 4.22, Atlas del Agua, DGA, 2016)

Macrozona	Región	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total
Norte	XV	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	I	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	II	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	III	1	-	-	1	2	1	-	2	7
	IV	3	-	2	3	1	2	4	3	18
Centro	V	3	-	2	5	4	3	6	3	26
	RM	2	-	-	2	2	-	-	-	6
	VI	1	-	-	1	-	-	-	1	3
	VII	2	-	-	3	1	1	2	1	10
Sur	VIII	2	1	-	-	-	-	1	-	4
	IX	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	XIV	-	-	-	-	-	-	-	-	0
	X	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Austral	XI	1	-	-	-	-	-	-	-	1
	XII	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Total		15	1	4	15	10	7	13	10	75

Fuente: Unidad SIG, División de Estudios y Planificación DGA, agosto 2015

3.2 Oferta y demanda futuras

Las necesidades de recursos y energía son crecientes conforme las sociedades crecen y se desarrollan. Esto también aplica al agua, que como lo muestra la Tabla 3.9, verá aumentada su demanda hacia el 2030 y años siguientes, como resultado del desarrollo económico proyectado.

En cuanto a la situación futura, las proyecciones de la oferta realizada por la DGA, considerando los proyectos de infraestructura previstos y la demanda que se espera en función del crecimiento económico, se anticipa que el déficit actual entre las regiones de Arica y Parinacota y la Metropolitana se incrementará sustantivamente hacia el 2030, como se muestra en la Tabla 3.10. El caso más preocupante es el de la Región

Metropolitana que, de no mediar cambios sustantivos, tendría un déficit hídrico superior al 50%.

3.3 Fuentes y/o sistemas de gestión alternativas

La primera respuesta frente a una situación de escasez hídrica es priorizar el uso del agua para los fines que se consideran más importantes. En general, se asume que el uso prioritario es el consumo humano, seguido de la producción agrícola que garantice el suministro de alimentos para el mercado interno (*la priorización del uso de agua para la producción agrícola de exportación resulta cuestionable, siendo más relevante el asegurar una cantidad mínima de agua para la preservación de ecosistemas. Comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos*). Más abajo aparecen otros fines que también son importantes como la producción de

energía, las actividades industriales y las de recreación. La asignación del agua según los usos prioritarios debe realizarse con una perspectiva de cuenca, de tal forma de asegurar que la distribución sea óptima. Sin embargo, es necesario tener presente que la gestión de cuencas sólo permite optimizar el uso

de una cantidad existente de agua, pero no aumentarla, por lo que su efectividad, aunque importante, puede ser limitada en un contexto de demanda continuamente creciente debido a factores demográficos o económicos.

Tabla 3.9 Resumen de demanda futura de agua por sector y región hacia el 2030 y 2040. (Fuente: DGA, 2017b)

Región	DEMANDA CONSUNTIVA FUTURA (Mm ³ /año)															
	APU		APR		AGR		PEC		MIN		IND		ELE		TOTAL	
	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040	2030	2040
XV	27.049	35.772	683	694	68.087	63.067	479	555	719	849	255	290	0	0	97.272	101.226
I	29.249	34.387	534	552	17.472	16.933	150	182	48.043	49.368	6.973	8.683	0	0	102.421	110.103
II	44.480	49.085	569	577	42.315	42.395	146	177	99.566	75.990	48.836	59.700	0	0	235.912	227.924
III	18.388	19.465	779	812	189.213	210.312	474	568	48.629	33.543	26	33	0	0	257.508	264.733
IV	47.667	52.123	7.230	7.505	720.118	790.984	2.664	3.198	46.021	40.900	6.629	8.034	0	0	830.328	902.744
V	112.158	117.727	12.207	12.495	736.452	779.568	5.320	6.521	48.169	42.604	19302	20911	169.880	174.115	1.103.489	1.153.939
XIII	772.105	841.915	14.255	15.360	1.216.806	1.253.000	31.696	39.240	26.152	25.649	75.894	99.170	24.895	24.966	2.161.802	2.299.300
VI	47.473	49.418	34.574	36.153	1.838.778	1.954.694	30.105	37.507	75.154	73.960	16.597	18.985	76	80	2.042.757	2.170.798
VII	43.741	46.223	19.914	20.905	2.503.605	2.437.756	4.495	4.609	0	0	50.660	62.628	9.069	8.974	2.631.484	2.581.096
VIII	108.604	112.385	15.812	16.203	432.803	416.301	2.152	1.836	34	32	423.289	544.534	172.530	183.951	1.155.224	1.275.241
IX	41.032	43.437	8.337	8.582	167.521	171.064	6.732	6.135	0	0	47.107	60.444	25.387	19.215	296.116	308.878
XIV	17.273	17.835	16.501	16.974	7.028	8.171	11.871	12.606	0	0	146.189	196.059	2.456	2.358	201.318	254.004
X	34.369	35.977	8.940	9.262	3.173	3.719	17.740	18.121	0	0	186.168	211.415	0	0	250.389	278.494
XI	5.947	6.454	1.389	1.391	488	482	2.482	2.514	971	1.654	1.611	2.010	0	0	12.888	14.505
XII	11.272	11.578	334	312	2.648	2.987	4.254	4.231	643	1.041	788	908	4.964	4.591	24.904	25.648
TOTAL	1.360.806	1.473.779	142.059	147.776	7.946.505	8.151.433	120.761	138.000	394.100	345.590	1.030.325	1.293.804	409.256	418.250	11.403.812	11.968.632

Tabla 3.10 Balance hídrico por región hacia el 2030. Cifras corresponden a m³/s. (Fuente: Cuadro 10 en MISP, 2015)

Región	Demanda 15 años	Oferta 15 años	Balance 15 Años
Arica y Parinacota+Tarapacá	26.3	11.9	-17
Antofagasta	34.8	0.9	-33.8
Atacama	22.4	1.9	-20.5
Coquimbo	41.8	21.1	-20.7
Valparaíso	64.2	36.6	-38.7
Metropolitana	124.9	92.7	-51.4
O'Higgins	119.1	184.5	18.7
Maule	184.5	690.3	383.6
Biobío	246	1474.2	1033.3
Araucanía	38.3	936.9	675.4
Los Lagos+Los Ríos	17.9	4639.5	3508.1
Aysén	27	10134	8282.9
Magallanes	15.7	10124	8387.2
Total País	962.8	28348.5	22107.1

Fuente: Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015

En respuesta a un potencial agravamiento del déficit de agua en el futuro existen tres tipos de soluciones: a) aumento de la capacidad de regulación o almacenamiento de agua para acumularla durante períodos de excedencia para ser utilizada durante períodos de sequía o mayor demanda, b) utilización de nuevas fuentes potencialmente de menor calidad y/o con mayores costos de producción, y c) cambios en la gestión del agua y/o aplicación de desarrollos tecnológicos para controlar la demanda, por ej. tecnificación del riego o cambio a cultivos con menor demanda de agua. Existen varias alternativas específicas para implementar cada una de estas tres

grandes categorías de soluciones, las cuales revisamos a continuación.

A) Aumento de la capacidad de regulación: en la gestión del agua desde tiempos ancestrales se ha reconocido que la variabilidad de la disponibilidad de agua como resultado de la variabilidad estacional o interanual de las precipitaciones, la cual representa una limitante fundamental para el desarrollo de actividades productivas. La respuesta a este problema ha sido la construcción de obras de ingeniería para almacenar agua durante períodos de excedencia para ser utilizada cuando se necesita, es decir para regular

su disponibilidad. El almacenamiento puede realizarse en obras de pequeño tamaño, por ejemplo, estanques o tranques que permiten la regulación entre estaciones húmedas y secas, o en grandes embalses que se utilizan para almacenar agua durante periodos de varios años. Adicionalmente, se ha utilizado el espacio disponible en el subsuelo para almacenar agua mediante la infiltración artificial hacia acuíferos.

A.1) Construcción de embalses: Consiste en la construcción de obras de diverso tamaño para la acumulación de agua en superficie. Obras de menor magnitud son comunes en terrenos agrícolas, las cuales no requieren grandes inversiones, diseño o grandes esfuerzos para su construcción. Obras de gran magnitud representan esfuerzos mayores en obras públicas, las cuales involucran grandes inversiones,

requieren un diseño de ingeniería detallado, representan grandes esfuerzos logísticos para su construcción que pueden tomar varios años, requieren una evaluación de los potenciales riesgos asociados a su colapso o falla, y actualmente también requieren una detallada evaluación de los impactos ambientales que pueden producir. A modo de ejemplo, se estima que los últimos grandes embalses construidos en Chile, como el embalse Puclaro en la Región de Coquimbo, requirieron más de 10 años desde su concepción hasta su entrada en operación. La construcción de grandes embalses en Chile comenzó en la década de 1930, tuvo un rápido desarrollo durante la década de 1950, y posteriormente ha seguido un desarrollo más lento como se muestra en la Figura 3.7. La Tabla 3.11 presenta un listado de los principales embalses existentes en Chile (DGA, 2016).

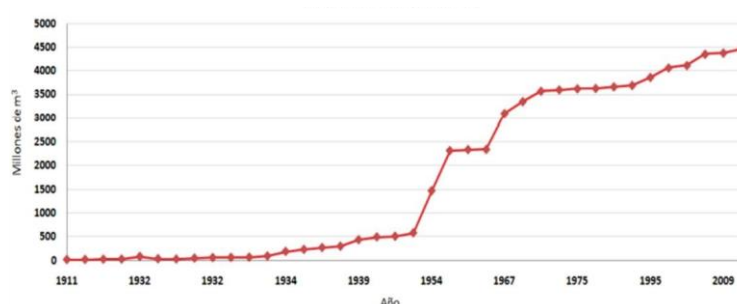


Figura 3.7 Capacidad de almacenamiento en embalses para riego construidos por el Estado. (Fuente: Figura 2.2, MISP, 2015)

Tabla 3.11 Principales embalses en Chile. (Fuente: Tabla 4.34, Atlas del Agua, DGA, 2016)

Macrozona	Región	Nº Mapa	Nombre	Uso embalse	Capacidad [Millones de m³]	Volumen almacenado a noviembre de 2015	
						Millones de m³	[%]
Norte	II	1	Embalse Conchi	Riego	22,0	17,0	77
	III	2	Embalse Lautaro	Riego	26,0	5,3	20
	III	3	Embalse Santa Juana	Riego	166,0	49,0	30
	IV	4	Embalse Puclaro	Riego	200,0	46,0	23
	IV	5	Embalse La Laguna	Riego	40,0	30,0	75
	IV	6	Embalse Recoleta	Riego	100,0	29,9	30
	IV	7	Embalse La Paloma	Riego	748,0	159,0	21
	IV	8	Embalse Cogotí	Riego	150,0	62,9	42
	IV	9	Embalse El Bato	Riego	26,0	23,1	89
	IV	10	Embalse Corrales	Riego	50,0	35,9	72
	IV	11	Embalse Culimo	Riego	10,0	1,9	19
Centro	V	12	Embalse Los Aromos	Agua Potable	35,0	20,2	58
	RM	13	Embalse Rungue	Riego	1,7	0,7	41
	V	14	Embalse Peñuelas	Agua Potable	95,0	7,9	8
	RM	15	Embalse El Yeso	Agua Potable	220,0	91,0	41
	VI	16	Embalse Rapel	Energía	695,0	589,0	85
	VI	17	Embalse Convento Viejo	Riego	237,0	237,0	100
	VII	18	Embalse Colbún	Riego / Energía	1.544,0	1.465,0	95
	VII	19	Embalse Tutuvén	Riego	22,0	14,2	65
	VII	20	Embalse Laguna del Maule	Riego / Energía	1.420,0	385,0	27
	VII	21	Embalse Digua	Riego	225,0	212,0	94
	VII	22	Embalse Bullileo	Riego	60,0	60,0	100
Sur	VIII	23	Embalse Coihueco	Riego	29,0	29,0	100
	VIII	24	Embalse Laguna de La Laja	Riego / Energía	5.582,0	1.494,0	27
	VIII	25	Embalse Pangue	Energía	83,0	79,0	95
	VIII	26	Embalse Ralco	Energía	1.174,0	1.024,0	87

Fuente: Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas, División de Hidrología DGA, noviembre de 2015

Las principales ventajas de los embalses es que son obras para las cuales se cuenta con gran experiencia en su operación, la cual se basa en principios simples y fáciles de controlar en la práctica: el volumen embalsado depende de la altura del espejo de agua y los caudales de entrada y salida que pueden ser medidos en secciones de control. Entre las principales desventajas se pueden mencionar la evaporación del agua embalsada, la cual en la zona centro-norte de Chile puede ser significativa; y la necesidad de contar con suficiente agua en excedencia durante un período relativamente prolongado para poder llenar embalses nuevos o casi vacíos como ocurre actualmente con muchos de los embalses existentes. Adicionalmente, por su tamaño y porque se emplazan en superficie en zonas cercanas a poblados o predios agrícolas, los grandes embalses son obras que generan grandes impactos en términos sociales debido a la necesidad de reasentamientos, y grandes impactos ambientales durante su construcción y posterior operación.

Chile ha tenido políticas públicas de riego desde épocas coloniales hasta la actualidad. Se han construido obras de riego como la laguna del Laja, el embalse más grande Chile; o el sistema de embalses Paloma, y canales como el Laja-Diguillín, las que constituyen una cantidad relevante de obras, a las que también han concurrido de manera muy activa el sector privado. En la actualidad, la base de la política pública de riego es la Ley de Fomento del Riego N° 18.450 de 1985. Esta ley del Ministerio de Agricultura es un instrumento de fomento que puede bonificar la construcción de una obra de riego y/o drenaje. La bonificación se otorga mediante concurso y se hace efectiva una vez que el proyecto es construido. Esa ley también contribuye a disminuir la desigualdad en el sector rural, ya que gran parte de los recursos se destinan hacia la pequeña agricultura. También faculta al Estado de Chile para financiar anualmente el Programa de Construcción de Obras Menores de Riego y Drenaje, mandatando a la Comisión Nacional de Riego (CNR) para que aplique, administre y difunda los beneficios de esta ley (*esta Ley ha sido objeto de severas críticas por el impacto que ha tenido en la sobre explotación de algunas cuencas y además porque opera con un sesgo que beneficia a los usuarios más grandes que probablemente no requieren de este tipo de subsidios. Detalles pueden consultarse en documentos presentados en sesiones del Congreso Nacional durante la tramitación de la última prórroga en diciembre de 2021: comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos*).

También hay una política de fomento para la construcción de embalses medianos, que partió en el primer gobierno de la presidenta Bachelet (2006-2010), y se ha continuado hasta hoy. Se estima que en total beneficiará con obras a 150, 000 agricultores. El programa, contempla la construcción de 26 nuevos embalses ubicados en nueve regiones, con una inversión total de US\$6,084 millones. La mayoría de los 26 proyectos se encuentran en diversas etapas de estudio, pero ya se han terminado las obras de los embalses Chironta (XV Región), Chacrilla (V Región), Valle Hermoso (IV Región) y Punilla (XVI Región). Además, se encuentra en construcción el embalse Las Palmas (V Región). Esta lentitud se debe, básicamente, al engorroso proceso de concesiones y licitación de los embalses. Se estima que la construcción de un embalse en Chile demora 10 años en promedio, desde que se plantea la idea hasta que se termina de construir.

Un tema, sin duda interesante, fue la rehabilitación de un número significativo de embalses pequeños construidos en la época de la Reforma Agraria y que, por ser considerados como bienes comunes, se encontraban en manos del SAG (heredero de los bienes de la CORA), sin uso y en la mayoría de los casos, con diversos grados de deterioro. Su rehabilitación, beneficiará principalmente a pequeños agricultores.

A.2) Recarga artificial de acuíferos: El volumen disponible para almacenar agua bajo la superficie de terreno también se ha utilizado para regular la disponibilidad de agua mediante la infiltración artificial durante periodos en que existen excedentes, la cual puede ser posteriormente recuperada mediante pozos (Dillon et al., 2019). Las técnicas para facilitar la infiltración de agua se pueden agrupar en lagunas y pozos de infiltración. Las obras superficiales como lagunas son fáciles de construir y operar. Alternativamente, desde hace siglos se han utilizado diques y otras obras menores que reducen la velocidad de cauces superficiales, aumentando la infiltración hacia los acuíferos. Los pozos de infiltración son más difíciles de operar debido a la potencial colmatación, y también pueden requerir mayores costos de construcción.

Las principales ventajas de los sistemas de recarga artificial de acuíferos es que por estar ubicados bajo el nivel de terreno no generan impactos mayores en el entorno, y que, en general, existe capacidad de almacenamiento en el subsuelo en casi todas las zonas áridas o semi-áridas en que se requiere capacidad de

regulación. Las principales desventajas se relacionan a la potencial contaminación de los acuíferos debido a la infiltración de agua de menor calidad, a potenciales problemas de operación para sistemas implementados mediante pozos de infiltración, y a la necesidad de grandes extensiones de terreno para implementar sistemas mediante lagunas de infiltración, lo cual puede ser una limitante mayor para su implementación en zonas urbanas o en áreas donde el costo de oportunidad del uso del terreno sea alto. La implementación de sistemas de recarga artificial puede realizarse en plazos relativamente cortos a la escala de meses, sin embargo, la operación efectiva de este tipo de sistemas para el almacenamiento y recuperación del agua infiltrada puede requerir considerablemente más tiempo, del orden de años a décadas debido a la variabilidad del agua disponible a infiltrar y del tiempo que esta demora en alcanzar el acuífero (Flint y otros, 2012).

La recarga artificial a gran escala se ha usado desde hace décadas en diversas zonas áridas como el sur de Israel, EEUU y Medio Oriente, como una alternativa a la construcción de grandes embalses (Aberbach y Sellinger, 1967; Lluria, 2009; Tizro y otros, 2011; Missimer y otros, 2014). Los proyectos de recarga artificial implementados en Israel durante la década de 1960 para mitigar la sobreexplotación de los acuíferos y detener el avance de la intrusión salina, permitieron infiltrar mediante un conjunto de 7 pozos de infiltración ubicados cerca de Tel Aviv, un caudal de 10 millones de m³/año (190 l/s); mientras que en la zona de Yavne se infiltraron 13 millones m³/año (4.12 l/s) mediante lagunas de infiltración con una extensión de 11 hectáreas (Aberbach y Sellinger, 1967). En Arabia Saudita se ha analizado la posibilidad de infiltrar efluentes de plantas de tratamiento para recargar acuíferos que proveen de agua a pequeños valles (“wadi”) donde existen poblados, y se ha concluido que el costo de la recarga artificial (0.5 USD/m³) podría ser significativamente menor al costo de la desalación (2-5 USD/m³) (Missimer y otros, 2014). Experiencias similares de recarga artificial en Irán reportan tasas de recarga de 90 l/s con un conjunto de 13 pozos poco profundos excavados a mano (Tizro y otros, 2011).

Uno de los proyectos más grandes de recarga artificial del mundo se ubica en Arizona, EEUU, en una región semi-árida. La adopción de la recarga artificial como una alternativa de gestión a gran escala, estuvo motivada por proyectos piloto a cargo de la U. Arizona que se realizaron desde 1967 (Lluria, 2009). La ocurrencia de un período húmedo que generó grandes excedentes de agua superficial motivó la construcción

y operación de proyectos a escala industrial a partir de 1980, cuando se aprobaron reformas que permitieron definir la propiedad del agua recargada. El sistema de recarga artificial incluye varios sitios de infiltración, los cuales infiltran agua que proviene de efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas (método conocido como SAT, *soil aquifer treatment*) y excedentes de agua transportada desde el Río Colorado para abastecer las ciudades de Phoenix y Tucson a través de un acueducto de más de 500 kilómetros (Central Arizona Project). Uno de los sitios de infiltración incluye 7 lagunas de infiltración con una superficie total de 150 hectáreas y una capacidad de infiltración de 250 millones de m³/año (8,000 l/s), y se estima que entre 1994 y 2009 se infiltró un volumen (*este volumen es equivalente al volumen del Embalse Ralco o a seis veces el volumen del Embalse Puclaro Tabla 3.11.*) equivalente a 1,200 millones de m³. Adicionalmente, la agencia estatal encargada de la gestión del agua opera varios otros sitios de infiltración con una capacidad combinada que excede los 460 millones de m³/año (Lluria, 2009).

Las principales barreras para la implementación de sistemas de gran escala de recarga artificial en Chile han estado ligadas a la forma de gestión del agua mediante derechos de aprovechamiento y a normas de calidad que regulan la infiltración de agua hacia acuíferos. Durante la última década, la sequía que ha afectado la zona central no ha permitido contar con excedentes de agua en cantidad suficiente para asegurar el funcionamiento de sistemas de recarga artificial a gran escala. Sin embargo, en Chile han existido diversas experiencias piloto durante la última década en la V y VI regiones y en la RM. En el caso de la Región Metropolitana, la Sociedad de Canal del Maipo implementó un sistema piloto de recarga artificial, el cual incluye un sistema de tratamiento del agua a infiltrar para asegurar que no existe impacto en la calidad del agua natural de los acuíferos (Figura 3.8).

B) Nuevas fuentes: Utilización de fuentes de menor calidad o mayores costos de producción.

B.1) Desalación

Chile tiene en cierto modo una condición de privilegio con una costa de más de 5 mil km ubicada a menos de 100 km de los principales centros de demanda de agua, como ciudades, centros industriales y zonas agrícolas, ubicados, en general, a una elevación menor a 500 m.s.n.m. Entre las capitales regionales, sólo Santiago se ubica a los pies de la cordillera de los Andes; mientras que las restantes ciudades están ubicadas en la costa o cerca del centro del valle. Las principales

tecnologías para la desalación de agua se agrupan en dos tipos: la destilación térmica y la osmosis inversa, siendo esta última la más utilizada en Chile y el mundo debido a su eficiencia energética (Gies, 2019). Ambas técnicas de desalación son intensivas en el uso de energía, por lo que, para estos efectos se puede decir que energía es sinónimo de agua. La eficiencia del proceso de desalación depende del tipo de agua

salobre que se trate, es decir, agua de mar o salmuera de acuíferos profundos; y del proceso de desalación que se utilice. Se estima que la eficiencia del proceso es cercana a 1, es decir, por cada litro de agua desalada se produce 1 litro de salmuera concentrada como residuo del proceso, la cual, además de sales, puede contener otras sustancias químicas potencialmente dañinas para el medio ambiente (Gies, 2019).



Figura 3.8 Vista área de sistema piloto de recarga artificial construido en La Pintana, RM. (Fuente: SCM, 2017)

Los costos de la desalación están asociados al costo de la producción de energía. En Chile y otros países la producción y transmisión de energía se ha hecho cada vez más eficiente debido a cambios tecnológicos, lo cual ha repercutido en los costos finales de la energía que se utiliza para desalación. Además, Chile tiene otra condición privilegiada relacionada a la abundancia de fuentes para la producción de energías renovables no convencionales (ERNC), especialmente solar y eólica. La producción de energía desde estas fuentes ha tenido una sustantiva reducción de costos debido al desarrollo tecnológico en cuanto al diseño y construcción de turbinas eólicas como en la producción de paneles fotovoltaicos.

A fines de la década pasada (2010), el costo de producción de un metro cúbico (m^3) de agua desalada en Chile se estimaba en promedio en USD 1. Esa cifra se ha venido reduciendo, llegando hoy en día a rondar los USD 0.5 por m^3 . Esto ha permitido que muchas plantas desaladoras estén operando en el norte de

Chile y ahora se estén proyectando varias otras en la zona central, por ejemplo, en Quintero-Puchuncaví.

El problema de la desalación de agua no es sólo de producción, sino que también de distribución o transporte del agua desalada desde las plantas hasta los puntos de consumo. La Figura 3.9 muestra una comparación de los costos estimados en 2013 para usar agua en minería en Chile y otros países. La estimación asume un caso hipotético en que la planta desaladora se ubica en la costa y el punto de consumo se ubica a 170 kilómetros y 3,200 metros sobre el nivel del mar. Esta estimación muestra que el costo de la desalación era relativamente similar entre países, pero que en el costo del transporte desde la fuente hasta el punto de consumo puede ser alto si este último se encuentra a gran distancia y/o a altura significativa. Las estimaciones para 2013 eran de un costo de producción de un metro cúbico de agua desalada de USD\$ 1.5 en Chile, mientras rondaba los USD 1.4 en países como Australia y Canadá. Nuevas estimaciones cifran el costo de producción actual (2022) en

alrededor de un tercio del valor estimado en 2013, es decir, USD 0.5 por metro cúbico.

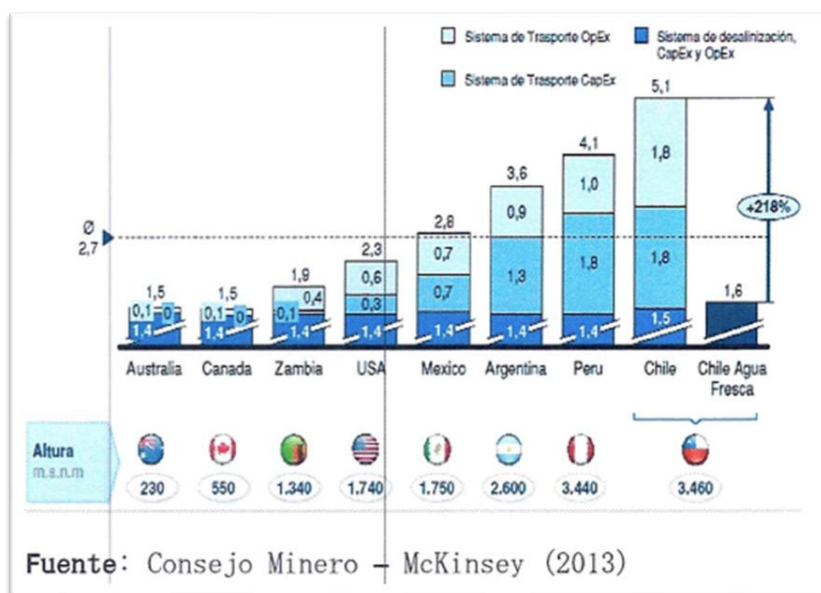


Figura 3.9 Costo de uso de agua desalada en minería en distintos países con actividad minera. Cifras en USD/m³. (Fuente: Morel, 2015)

La utilización de agua desalada en Chile ha tomado un fuerte impulso durante los últimos años, a pesar de que todavía se está ajustando la normativa y que los costos de producción no son rentables para cualquier actividad, lo son sin duda para la minería y el consumo humano. La Figura 3.10 muestra las plantas desaladoras que operaban y los proyectos en construcción o propuestos a octubre de 2019 en Chile, cuando se contabilizaban 24 plantas operando y 22 proyectos en distinto grado de avance (CPI, 2019). Además de los proyectos que aparecen en esa figura, en la actualidad con gran frecuencia se anuncian proyectos de nuevas plantas, tanto para consumo humano como para actividades mineras.

En 2018 se inauguró la planta desaladora más grande de Sudamérica en la Caleta Coloso ubicada en la Región de Antofagasta. Esa planta desaladora fue financiada y operada por Minera Escondida, tiene una capacidad de procesamiento de 2,000 l/s, que se suma a una capacidad de 525 l/s de una unidad existente que ya cuenta con doce años en operación. La construcción

de Escondida Water Supply (ESW) se extendió entre 2013 y 2017, y demandó una inversión de USD 3,430 millones. Esta planta actualmente opera en régimen y cumple con toda la normativa ambiental vigente.

Un tema recurrente que se plantea en contra de la desalación se refiere al impacto ambiental que puede ocasionar el vertido al mar de la salmuera de descarte que resulta de la remoción de las sales. Estos vertidos tienen concentraciones de sales superiores a la del agua de mar, lo que se esgrime puede ocasionar problemas para los ecosistemas que se ubican cerca de los puntos de descarga (Gies, 2019). La experiencia que se ha recogido durante las últimas décadas en que han operado plantas desaladoras en diversos países indica que este problema es relativamente menor para plantas con capacidad de producción acotada, es decir flujos de algunos metros cúbicos por segundo. Sin embargo, esto puede representar un problema mayor para plantas con capacidad de producción significativamente más alta, como la que se requiere para abastecer megaciudades de la talla de Santiago.



Figura 3.10 Plantas desaladoras actualmente en operación y proyectos en ejecución o propuestos. (Fuente: CPI, 2019)

Otro aspecto adicional que queda por definir en cuanto a la producción y uso de agua desalada se refiere a su propiedad. Las reglas civiles aplicables establecen que esta seguirá, en general, el régimen de un bien privado (régimen en vigor en nuestro país, conforme al artículo 662 del Código Civil). No obstante lo anterior, algunos países han alterado esta regla mediante disposiciones legales o soluciones jurisprudenciales específicas. Por ejemplo, en España se mantiene la propiedad pública sobre el agua desalada por ley desde el año 2005; lo mismo ocurre en Argelia, pero sólo aquella sujeta a una finalidad pública. En Australia e Israel se considera las instalaciones de desalinización como “infraestructura nacional”, es decir de interés nacional. En Estados Unidos, la Corte Suprema ha considerado el principio de inalienabilidad de los bienes públicos.

En Chile, el proyecto de ley sobre uso de agua de mar para desalinización (Boletín N° 11.608-09 de la Cámara de Diputados) fue recientemente aprobado y despachado en particular a sala por la Comisión Especial sobre Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía del Senado, quedando establecido que las aguas resultantes del proceso de desalinización constituyen bienes nacionales de uso público.

B.2) Acuíferos profundos

Tradicionalmente, el agua subterránea se ha extraído desde acuíferos poco profundos (< 100 m), que en la gran mayoría de los casos corresponden a sedimentos no consolidados, tales como gravas, arenas y suelos vegetales. Una fuente alternativa de agua frente al continuo descenso de las reservas de agua en acuíferos superficiales es la explotación de acuíferos que se ubican a mayor profundidad, los cuales alojan la mayor parte de las reservas de agua subterránea. La extracción de agua desde tales acuíferos presenta dos desventajas mayores: i) aumento del costo de exploración y operación debido a la necesidad de perforar sondajes de mayor profundidad y al aumento del costo del bombeo para traer el agua a superficie, y ii) necesidad de aplicar sistemas de tratamiento relativamente avanzados para remover sustancias disueltas en el agua subterránea, la cual, en general, corresponde a aguas salobres de mala calidad para su utilización en agua potable e incluso en actividades silvoagropecuarias. Los sistemas de tratamiento que deben aplicarse a este tipo de agua son similares a los que se aplican para la desalación de agua de mar, por ej. ósmosis inversa, los cuales son intensivos en consumo de energía.

B.3) Reutilización de aguas servidas tratadas

La reutilización de los efluentes de plantas de tratamiento de aguas servidas aparece como una opción muy atractiva para paliar la escasez de agua, especialmente para uso en riego e industria (Diario Financiero, 2019). Sin embargo, su implementación ha encontrado diversas barreras en Chile y el mundo, particularmente en lo referente a la dictación de normas y estándares de calidad que permitan su uso para distintos fines (Mizyed, 2013). En el caso de Chile, también han existido barreras relacionadas a la propiedad del agua tratada y a su posible comercialización (Emol, 2011). En Chile actualmente se trata casi el 100% de las aguas servidas recolectadas en sistemas de alcantarillado, las cuales representan más del 97% de las aguas servidas generadas en el país (MOP, 2021). Los efluentes de las plantas de tratamiento que en promedio representan un caudal de 41 m³/s, actualmente son vertidos a ríos (78%) en el caso de plantas que se ubican lejos de la costa, o directamente al mar en el caso de ciudades costeras (22%) (MOP, 2021). En varios países del mundo existen grandes sistemas de infiltración del agua servida tratada a acuíferos para acelerar su recarga, mientras que en el caso de Chile han existido varios estudios y algunos proyectos piloto que no han resultado en proyectos definitivos aún.

B.4) Carreteras hídricas

Debido a la mayor disponibilidad de agua en el sur del país y la escasez de esta en la zona norte, se han propuesto al menos dos proyectos para transportar agua entre esas dos zonas. El proyecto Aquatacamá promovido por un grupo francés considera el transporte de hasta 1000 m³/s de agua desde la desembocadura del río Biobío hacia el norte incluyendo la XV y I Regiones (F. Bogliolo, Comunicación Personal). El proyecto contempla la construcción de un acueducto submarino mediante la instalación de una tubería flexible que permitiría transportar agua a distintas localidades de la zona centro norte de Chile, para la cual se ha estimado una demanda futura de aproximadamente 400 l/s. Se espera que la materialización de tal proyecto permitiría un desarrollo importante de la agricultura en el Norte de Chile, que por sus características climáticas (alta radiación solar) y la disponibilidad de terreno podría constituirse en una importante zona productora de alimentos. Según los proponentes del proyecto, los costos de esta alternativa de transporte de agua serían sustancialmente inferiores a la construcción y operación de plantas desaladoras y, al mismo tiempo, evitaría un potencial perjuicio ambiental como producto de la disposición de agua con altas concentraciones de sales que resulta del proceso de

desalación. El proyecto contempla una ejecución vía sistema de concesiones, cuyos costos incluyan sólo el transporte del agua entre dueños de derechos (de preferencia el Estado) y potenciales usuarios. El proyecto está bastante desarrollado en su fase de conceptualización y prefactibilidad, tanto en aspectos como diseño de tubería y trazado, como en los aspectos financieros que permitirían su construcción. Aunque las ventajas que tal proyecto podría generar resultan evidentes, presenta al menos dos desventajas que también son importantes: una falta de experiencia internacional en la construcción y operación de proyectos de similares características, y una falta de experiencia nacional en la planificación y financiamiento, y en el diseño, construcción y operación de proyectos de ingeniería de tal envergadura.

Existe otro proyecto alternativo de carretera hídrica impulsado por inversionistas nacionales que propone realizar un acueducto terrestre desde las regiones de la Región de Biobío hasta la Región de Atacama. Este proyecto plantea duplicar el número de hectáreas regadas en el país (Reguemos Chile, 2022). Esta idea parece más reciente y menos elaborada que el proyecto de carretera submarina.

C) Cambios en la gestión del agua y/o aplicación de desarrollos tecnológicos:

C.1) Cambio de cultivos

Las cifras preliminares del recientemente efectuado Censo Nacional Agropecuario 2021 (el anterior es del 2007), indican que la superficie de cultivos, cereales, leguminosas, tubérculos, cultivos industriales, vides para vino, hortalizas y forrajeras, se redujo un 30% promedio en el periodo intercensal. Solamente los frutales aumentaron su superficie cultivada un 23%, en un contexto en que la superficie total cultivada aumentó en un 12% a nivel anual; mientras la superficie declarada bajo riego disminuyó de 1,118,559 ha a 902,158 ha, es decir una baja de 20% de la superficie original. Estas cifras muestran básicamente dos cosas. Por una parte, la sequía hizo estragos significativos como lo indica la reducción de la superficie bajo riego declarada; y por otra, confirman la vocación por el cultivo de frutas de clima mediterráneo de la agricultura chilena como motor exportador.

Los cultivos permanentes, como es el caso de los frutales y vides, requieren de agua para riego durante todo el año, por lo que se requiere acumular agua superficial durante periodos en que existen excedentes y, al mismo tiempo, utilizar aguas subterráneas. Los

frutales se concentran principalmente entre las Regiones IV y VIII, donde predomina el clima mediterráneo, lo que explica la mayor extensión de la superficie regada que muestra la Figura 3.11. El riego también se ha ido extendiendo hacia el sur entre las

Regiones XVI y X en los últimos años, especialmente con la aparición de nuevos cultivos adaptados a esos climas, como el avellano y castaño europeos y el arándano.

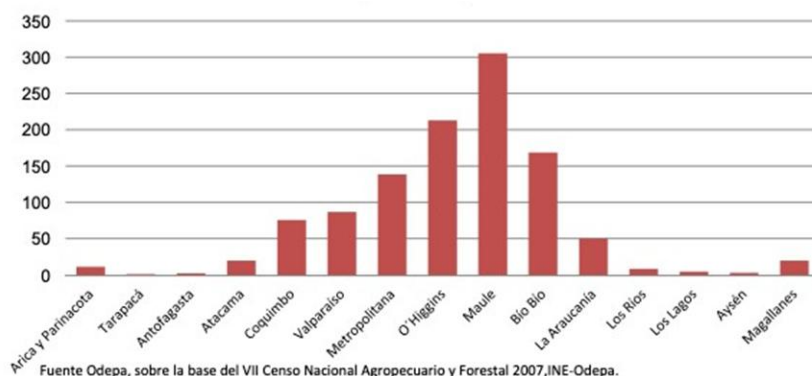


Figura 3.11 Superficie regada según región del país. (Fuente: VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007)

Lo anterior indica que la demanda por agua para riego está en directa relación con el tipo de cultivo que se produzca en las distintas regiones del país. Hasta ahora, los criterios para definir el tipo de cultivo han considerado el rendimiento económico y la adaptabilidad al clima de las distintas regiones del país. Por lo tanto, la oferta de agua permanente ha debido aumentarse a través de la construcción de nuevos embalses y el aumento de las extracciones de agua subterránea. Ante un escenario de creciente escasez hídrica, es probable que la situación se invierta y que el tipo de cultivo esté condicionado por la cantidad de agua disponible.

C.2) Tecnificación del riego

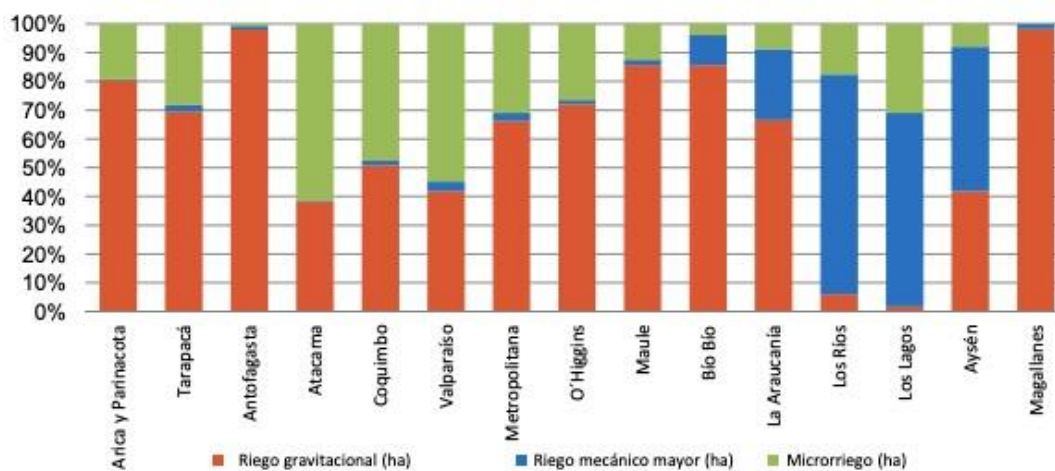
El principal desafío del aseguramiento del riego se basa en la acumulación y distribución de agua, pero también, en su uso predial eficiente. La estrategia de los agricultores, principalmente fruticultores, para enfrentar este tema, ha sido aumentar la eficiencia de sus sistemas de riego por medio de la tecnificación. Tecnificar el riego significa pasar de un sistema de riego que trabaja a presión atmosférica, a uno que trabaja a mayor presión, siendo los más utilizados goteros, cintas y micro-aspersores. Estos sistemas de riego, además de proveer una distribución del agua más localizada y, por tanto, más eficiente, también permiten fertilizar y nutrir la planta de manera más precisa (*en Chile, la implementación de sistemas de riego tecnificado no ha redundado en un menor consumo de agua, sino que por el contrario lo ha aumentado debido al cultivo de una mayor superficie justamente por la mayor eficiencia de estos sistemas.*

Además, su implementación junto al aumento de la superficie cultivada ha aumentado la presión sobre las fuentes de agua subterráneas, al mismo tiempo que ha disminuido la recarga a los acuíferos: Comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos).

“La eficiencia del uso de agua de riego en Chile ha subido de un 32% a un 50% en los últimos 30 años gracias a la introducción del riego tecnificado, por ello es muy importante lo que se haga en materia de eficiencia y tecnología en la agricultura”, según el Vicepresidente de la Asociación Gremial de Riego y Drenaje y ex Profesor de riego de la PUC, Dr. Luis Gurovich. Y como se puede apreciar en la Figura 3.12, cerca de un tercio de la superficie actual de riego cuenta con sistemas tecnificados.

Las infiltraciones hacia las napas producto de la baja eficiencia de sistemas de riego tradicionales como por surco o tendido, han contribuido por largo tiempo de forma importante a la recarga de los acuíferos en algunas zonas con cultivos extensivos, por ejemplo, en la cuenca del río Maipo (DGA, 2021, p.16). Tales pérdidas de agua hacia los acuíferos podrían considerarse como el ahorro de excedentes de agua en los sistemas de agua subterránea, de forma similar a lo que se persigue con la implementación de sistemas de recarga artificial mediante lagunas de infiltración. Por lo tanto, la adopción de técnicas de riego más eficientes trae como consecuencia una menor recarga hacia los acuíferos, lo que debe ser considerado en la gestión eficiente del agua en esas zonas y en la

reevaluación de los recursos de agua subterránea que pueden ser explotados de forma sustentable.



Fuente Odepa, sobre la base del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007, INE-Odepa.

Figura 3.12 Formas de riego implementadas en las distintas regiones del país. (Fuente: VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal 2007)

C.3) Migración

En zonas en las que el uso del agua para agua potable es importante, por ejemplo la Región Metropolitana, se puede considerar planes para fomentar la migración de parte de la población hacia otras zonas con mayor disponibilidad hídrica. Medidas de inmigración planificada o traslado de entidades gubernamentales a nuevas ubicaciones han sido adoptadas en distintos países, incluidos algunos casos en Sudamérica como el traslado de la capital de Brasil a Brasilia en 1960. No existe información respecto de medidas similares en Chile a excepción de pueblos que se originaron como campamentos mineros.

4. CALIDAD Y CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El problema de garantizar la seguridad hídrica no sólo se relaciona con asegurar una cantidad de agua adecuada, sino también en garantizar una calidad que la haga apta para ser usada con distintos fines. A medida que el conocimiento sobre los efectos de la calidad del agua sobre la salud humana y el medio ambiente ha aumentado, la preocupación por entender el origen de la contaminación del agua y por determinar la calidad de esta ha aumentado en Chile y el mundo. Mientras el problema relacionado a la escasez de agua es fácil de reconocer simplemente mirando los caudales que escurren por ríos, el área cubierta por glaciares o los niveles de pozos, la

identificación de problemas relacionados a la calidad del agua es más difícil, porque en muchos casos requiere la toma de muestras y su posterior análisis en laboratorio. Uno de los grandes desafíos para enfrentar una potencial crisis debido a la contaminación del agua es entender su verdadera magnitud, porque hasta ahora el problema ha estado más o menos oculto, en lo que algunos denominan “una crisis invisible del agua”. El avance tecnológico de las últimas décadas ha permitido el desarrollo de métodos de detección muy sofisticados, cuya aplicación está demostrando el alcance del problema de contaminación y degradación de la calidad del agua en distintos lugares del planeta (Damania et al., 2019; Hannah et al., 2022).

Aunque la mayoría de problemas recientes de calidad de agua están asociados a la introducción de sustancias químicas sintetizadas que son difíciles de asimilar por los ecosistemas y que tienen efectos nocivos, tales como fertilizantes o pesticidas (*se estima que en los EEUU se introducen del orden de 1000 nuevas sustancias químicas a ecosistemas acuáticos cada año* (Damania et al. 2019); existe otra variedad de problemas de calidad de agua relacionados al cambio del régimen natural de los sistemas hidrológicos, por ejemplo, la salinización de ríos y lagos debido a la disminución de caudales o, al incremento en concentraciones de elementos naturales altamente tóxicos en las fuentes de agua como arsénico debido a fluctuaciones en los niveles de agua subterránea.

Otros ejemplos de tales alteraciones son el rápido crecimiento de bacterias y algas en lagos. Por otra parte, cambios en los sistemas hidrológicos tales como menor caudal o velocidad del flujo pueden resultar en menor oxigenación de las aguas que escurren por ríos y otros cuerpos superficiales, dando lugar a procesos químicos anaeróbicos que, en general, se asocian a malos olores y una degradación de la calidad del agua para distintos fines, incluyendo el recreativo. Un buen ejemplo, conocido por todos, es lo que ocurre con el agua estancada o en el agua de piscinas que no son debidamente mantenidas. El aumento en la intensidad del Cambio Climático en combinación a cambios acelerados en el uso del suelo, han contribuido a incrementar la frecuencia de estos casos en que la calidad del agua se ve impactada por cambios hidrológicos (Hanna et al., 2022).

En lo que sigue nos concentramos en problemas de la calidad del agua debidos al vertido de sustancias químicas o residuos domésticos o industriales, o a la presencia de elementos naturales que por su carácter tóxico pueden representar un peligro para la salud humana o la flora o fauna. Adicionalmente, el agua subterránea puede estar alojada en acuíferos y en contacto con la roca por gran tiempo (hasta del orden de miles de años), lo cual permite su interacción química resultando en concentraciones de minerales y metales disueltos que son, por lo general, significativamente mayores a las encontradas en aguas superficiales que permanecen por mucho menor tiempo en ríos y/o lagos.

Desde la antigüedad se ha reconocido problemas de calidad de agua, principalmente relacionados a contaminación biológica, los cuales han sido el origen de epidemias y otros problemas de salud pública. El desarrollo acelerado de sistemas de recolección de aguas servidas y de sistemas de tratamiento ha permitido controlar este tipo de contaminación en los países desarrollados y en la mayoría de los en vías de desarrollo, por lo que este tipo de problemas puede considerarse como superado o en vías de solución. Sin embargo, existe otro tipo de problemas de contaminación de aparición más reciente que está ligado al desarrollo económico acelerado que ha ocurrido durante los últimos dos siglos, el cual sólo ha sido reconocido en las últimas décadas. Se puede establecer que en cuanto a las fuentes de la contaminación del agua han existido tres fases históricas (Hannah et al., 2022): i) contaminación crónica debido a carga orgánica y patógenos como producto de la descarga de aguas servidas sin tratamiento, ii) contaminación debido a fuentes puntuales como resultado del desarrollo de actividades

industriales, mineras, y operación de complejos petroquímicos, entre otras, y difusas ligadas a la agricultura y la utilización de fertilizantes y pesticidas, y iii) contaminación asociada a contaminantes emergentes, tales como productos farmacéuticos o insumos industriales que son usados en la manufactura de una gran variedad de artículos de uso doméstico basados en PFAS (*Perfluoroalkyl/Polyfluoroalkyl*), los cuales por su composición química son difíciles de biodegradar.

Debido a la complejidad del problema y a la poca información que todavía existe respecto a la calidad del agua en distintas regiones del planeta incluido Chile, es probable que el conocimiento creciente respecto de este tema revele que la magnitud del problema es aún mayor que la que se le asigna actualmente.

4.1 Problemática a nivel mundial

A pesar de que problemas de calidad del agua usualmente se asocian a países con altos niveles de desarrollo, estudios recientes han concluido que el riesgo es similar en países de menor desarrollo. La Figura 4.1 muestra un mapa de la distribución del riesgo de degradación de la calidad del agua elaborado como parte de un estudio del Banco Mundial (Damania, 2019). Zonas con gran nivel de desarrollo como América del Norte y Europa presentan niveles de riesgo en la calidad del agua similares a otras zonas menos desarrolladas como algunas regiones de Latinoamérica y Asia. En la actualidad todavía se producen más de dos millones de muertes al año debido a problemas de calidad del agua (Hannah et al., 2022).

Otra forma de relacionar el problema de la contaminación del agua y del medioambiente en general, con el grado de desarrollo económico, es la siguiente: a medida que los países se desarrollan contaminan más el medioambiente, hasta que la población alcanza un nivel de bienestar y educación que la hace pedir por mejores estándares de protección ambiental, lo que resulta en menores niveles de contaminación (Damania et al. 2019). A tal hipótesis se le conoce como Curva de Kuznet para medioambiente (*Environmental Kuznets Curve*), la cual se muestra en la Figura 4.2.

Un ejemplo directo de este proceso es el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas servidas, el cual se aplica solo desde hace algunas décadas en la mayoría de los países que lo utilizan en la actualidad. Según esta hipótesis el crecimiento económico deriva en una solución a todo problema ambiental. Este argumento

es similar al que se ha considerado respecto de la distribución del ingreso y el desarrollo económico, el cual sostiene que la distribución empeora durante períodos en que los países tienen bajos niveles de desarrollo, pero desciende después de que éstos han alcanzado un cierto umbral de ingreso per cápita. Sin

embargo, la evidencia indica que tal mecanismo de balance debido a la prosperidad de los países no ocurre de forma automática, sino que se requiere de la acción y regulación del Estado (Comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos).

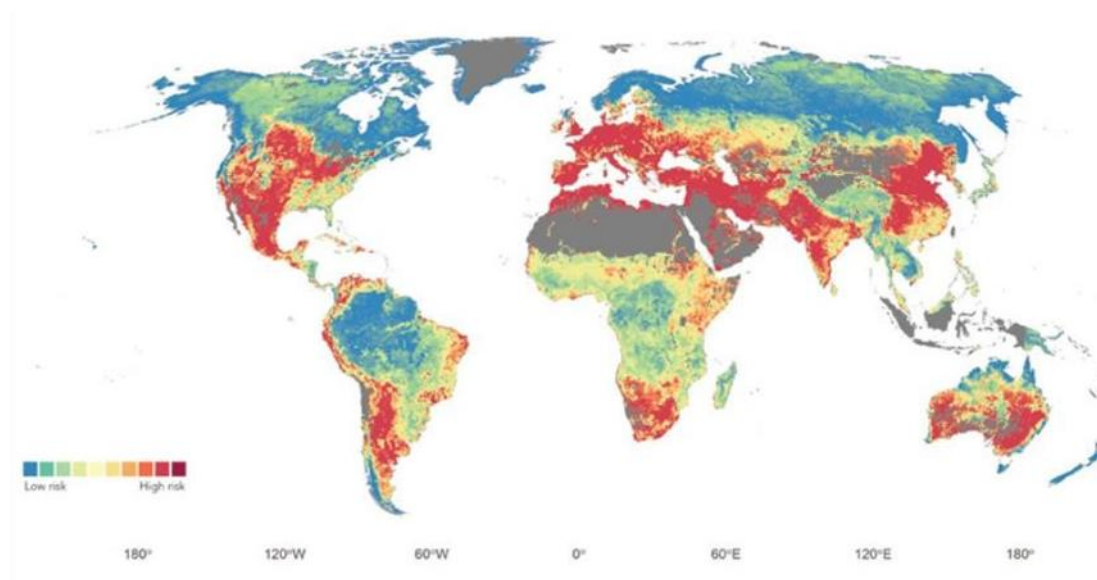


Figura 4.1 Riesgo para la calidad del agua estimado en base a tres parámetros: demanda biológica de oxígeno (DBO), concentraciones de nitrógeno y conductividad eléctrica. (Fuente: Damania et al. 2019)

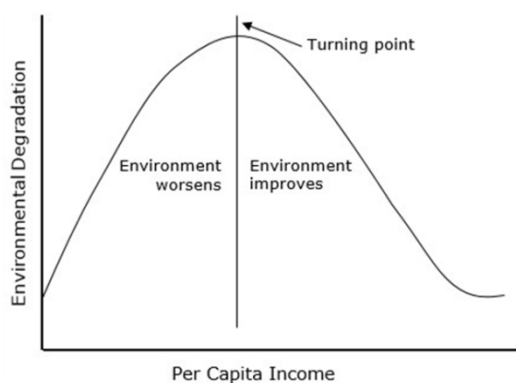


Figura 4.2 Curva de Kuznet para medioambiente. (Fuente: Wikipedia)

La búsqueda de soluciones al problema de la contaminación del agua requiere considerar varias aristas (Damania et al., 2019). Por una parte, es necesario aumentar el conocimiento respecto al tamaño y la gravedad del problema a través de la implementación de más y mejores sistemas de monitoreo y del desarrollo de nuevas técnicas de análisis. Por otra, requiere implementar normas e incentivos económicos que disminuyan la cantidad de contaminantes que son vertidos a los ecosistemas, al

mismo tiempo de instaurar sanciones económicas que fomenten la remoción de contaminantes y la limpieza de los sistemas afectados. Por lo tanto, puede concluirse que existen tres opciones para hacer frente a este problema: prevención, tratamiento y/o remediación, y entrega de información (Damania et al., 2019).

La prevención es la medida más efectiva y menos costosa para lidiar contra el problema de la

contaminación del agua. El mayor desafío para aplicarla radica en la dificultad que existe para fiscalizar su correcta ejecución debido al gran número y a la diversidad de las potenciales fuentes y mecanismos de contaminación (Damania et al., 2019). En este sentido incentivos indirectos, como por ejemplo la implementación de impuestos que graven el uso de determinadas sustancias consideradas particularmente nocivas y/o susceptibles de contaminar el medioambiente acuático, o el incentivo mediante rebajas de impuestos para la adopción de sustancias alternativas como insumos de procesos productivos, parecen medidas que presentan menores dificultades para su fiscalización y adopción. Esto es lo que algunas veces se denomina la elección entre medidas de comando y control versus políticas de incentivos (“*command and control versus incentive based policies*”, Damania et al., 2019). Legislación y normas que se enfocan en prevenir la contaminación del agua son relativamente recientes. Por ejemplo, la *Clean Water Act*, la cual se menciona a menudo como ejemplo a nivel mundial en el tema, fue promulgada en EEUU solo en 1972. Ella dio autoridad a la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para implementar programas de control sobre la calidad del agua y fijar

estándares de calidad (Damania et al., 2019). Además, estableció como delito la descarga de contaminantes sin un permiso y estableció un programa de financiamiento para la construcción de plantas de tratamiento (EPA, 2022b). Normativas similares han sido promulgadas más recientemente en otros países como la *Water Framework Directive* de la Unión Europea (2000) y *Chinese Water Pollution Control Law* (1984). En general, la normativa que regula la calidad del agua ha seguido la misma evolución que la aparición de contaminantes y el desarrollo económico de los países como lo muestra la Figura 4.3. En una primera etapa, la normativa se enfoca a regular la contaminación biológica y por patógenos principalmente relacionada a las aguas servidas y la calidad del agua potable. Posteriormente, se dictan normativas que regulan contaminación que típicamente se origina en fuentes difusas como pesticidas y fertilizantes. Finalmente, en el caso de países con un alto grado de desarrollo económico, por ejemplo, EEUU o el Reino Unido, se han dictado normas que regulan contaminantes emergentes tales como micro-plásticos o elementos radioactivos.

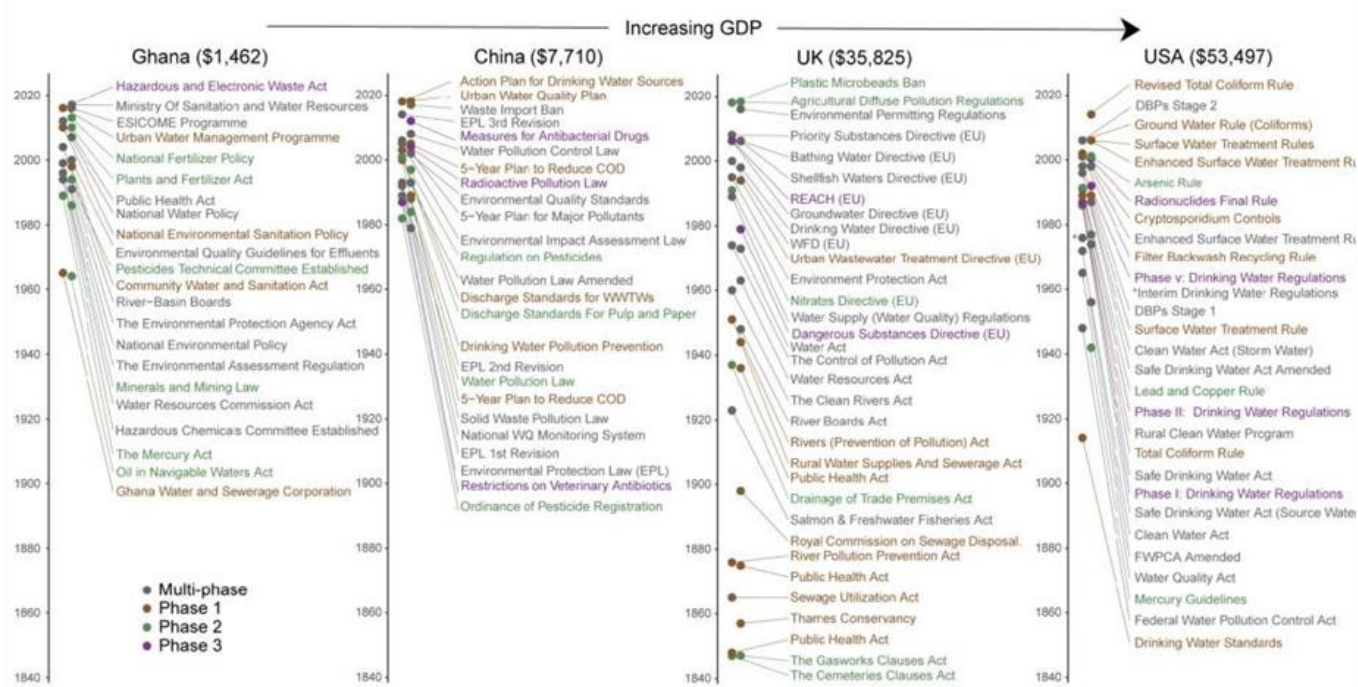


Figura 4.3 Síntesis de evolución histórica de la normativa relacionada a la calidad del agua en países con distinto nivel de desarrollo. (Fuente: Hannah et al., 2022)

La contaminación que se origina en fuentes difusas, por ejemplo, debido a la utilización de fertilizantes o pesticidas en agricultura representa otro problema mayor. En esos casos es difícil determinar la responsabilidad de la contaminación, mientras que la extensión de la contaminación puede ser significativa haciendo la remoción de contaminantes muy difícil o imposible. En tales casos, existen algunos ejemplos que demuestran la efectividad de aplicar políticas de incentivo a potenciales contaminadores para fomentar el cambio en sus prácticas con la consiguiente disminución de la contaminación y los costos de tratamiento asociados (Damania et al., 2019).

Incluso en países desarrollados en que existe capacidad de monitoreo significativa, estándares modernos de calidad de agua y políticas de fomento para la prevención de la contaminación, se observan a

menudo situaciones en que alguna de las normas de calidad de agua es superada (Figura 4.4). La Corte Europea ha aplicado multas a países como Francia, Alemania y Grecia debido a altos niveles de nitratos en el agua (Damania et al., 2019). Se estima que más de 30% de 130 mil cuerpos de agua monitoreados en Europa presentaban algún problema de calidad de agua en 2020 (Hannah et al., 2020). Esto sirve como antecedente para cuantificar el problema en otros países en que existe poca información sobre el problema y que cuentan con políticas de prevención menos desarrolladas, como Chile y otros países de Latinoamérica. Es probable que el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas de monitoreo den una visión aún más negativa respecto de la magnitud, extensión y severidad del problema de la contaminación del agua en distintos países.

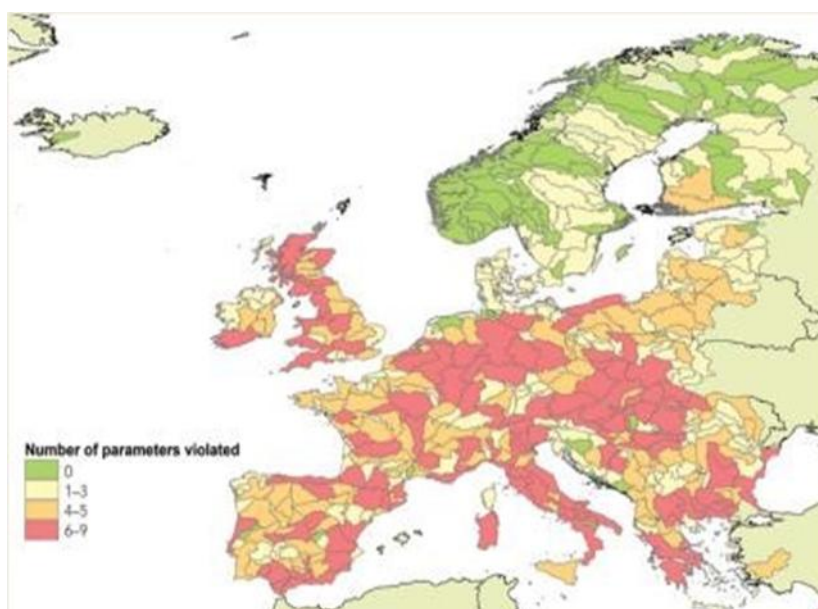


Figura 4.4 Número de casos reportados en que alguna norma de calidad de agua fue excedida durante el período 2000-2012 en países europeos. (Fuente: Damania et al., 2019)

Cuando existe evidencia de la presencia de sustancias que pueden ser dañinas para la salud humana o el medio en el agua, no queda otra alternativa que intentar limpiar el sistema, lo que a nivel técnico se denomina remediar un sitio. Uno de los principales problemas en esos casos, es que muchas veces ocurre que el efecto dañino comienza a notarse mucho tiempo después del ingreso de los contaminantes a los sistemas acuáticos (Hannah et al., 2022), por lo que el responsable de la contaminación puede haber dejado de operar y existir como entidad legal dificultando la

asignación de responsabilidades individuales y el consiguiente cobro de los gastos asociados a la remoción de los contaminantes. En tales casos, la solución del problema pasa por encontrar alternativas de financiamiento adecuadas que permitan costear los trabajos necesarios para la limpieza del sistema acuático, los cuales muchas veces terminan siendo costeados con fondos públicos. En algunos países desarrollados se ha implementado programas que buscan la limpieza de sitios contaminados, para lo cual se encarga al Estado de ejecutar los trabajos necesarios

y posteriormente, demandar el reembolso de los costos a los responsables. Uno de los programas de mayor envergadura a nivel mundial es el programa administrado por la Agencia de Protección Ambiental de EEUU denominado *Super Fund Sites*, que se enfoca en la limpieza de los principales sitios identificados con acuíferos contaminados (EPA, 2022). Un problema que presenta la implementación de tales programas es el alto costo que demandan. Por ejemplo, en 2019 el programa de *Super Fund Sites* incluía más de 1,300 sitios considerados como prioritarios para ser remediados debido a su tamaño, nivel de toxicidad o potencial riesgo para la población, además de otros 40,000 que requerían algún grado de remediación. El costo total del programa desde su implementación en 1980 se estima superior a cientos de miles de millones de dólares. En la mayoría de los casos el Gobierno Federal de EEUU ha podido demandar el pago de los costos a los responsables, sin embargo, en un porcentaje significativo del orden de 30% no ha podido recuperar esos costos.

En algunos casos de contaminación de agua, el problema no solo pasa por asegurar el financiamiento para cubrir los costos de limpiar, sino que por la falta de métodos o tecnología que hagan viable tal iniciativa en la práctica. Por ejemplo, en el caso de la remediación de acuíferos contaminados, la tecnología más utilizada hoy en día se basa en extraer el agua contaminada mediante pozos de bombeo para posteriormente tratarla. Esto representa un costo operacional significativo que en la mayoría de los casos involucra la construcción de nuevos pozos y su operación por períodos que pueden ir desde meses hasta décadas. Adicionalmente, involucra la construcción o instalación de sistemas de tratamiento in-situ y la posterior descarga de los efluentes tratados. Incluso en casos en que existe financiamiento y voluntad para respaldar la instalación y operación de tales sistemas, es difícil establecer con total certeza su éxito debido a la dificultad que representa caracterizar la calidad del agua en un sistema acuífero que en algunos casos puede encontrarse a cientos de metros de profundidad y puede estar compuesto por material geológico de muy diversa naturaleza. Por otra parte, sistemas de remediación basados en bombeo y tratamiento no resuelven problemas ligados a la contaminación de los suelos, lo cual puede ocasionar una posterior nueva contaminación debido a la lenta disolución de sustancias nocivas en el agua. Por lo tanto, desde un punto de vista práctico y cauteloso en cuanto a asegurar la calidad del agua subterránea, se puede asumir que un acuífero contaminado es imposible de remediar a plenitud.

Desde un punto de vista político, abordar el problema de la contaminación del agua muchas veces aparece como menos rentable versus preocuparse por otros problemas para los cuales la ciudadanía exige una solución más urgente. Esto es particularmente cierto en casos de contaminantes que son difíciles de detectar y sólo producen un efecto negativo sobre la salud humana o el medioambiente después de un largo período de exposición (Damania et al., 2019).

4.2 Calidad del agua en Chile

La calidad natural del agua en Chile difiere significativamente a lo largo del territorio (Valdés-Pineda y otros, 2014). En 2004 la Dirección General de Aguas encargó un estudio que tuvo como objetivo caracterizar la calidad natural y actual del agua, conocer los caudales disponibles para dilución de contaminantes o sales y tipificar cursos de agua según su calidad (DGA, 2004). El estudio de la DGA consideró las cuencas de siete de los principales ríos de Chile: Loa, Elqui, Aconcagua, Maipo, Rapel, Bío-Bío y Aysén. Sus principales conclusiones fueron que:

- En el norte el agua de ríos presenta altos contenidos de sales y arsénico que tienen origen natural. En algunas zonas también existen surgencias de aguas geotermales que presentan concentraciones de otros minerales. La alta radiación solar y consiguiente evaporación potencial, contribuyen a concentrar las sustancias disueltas y a empeorar otros parámetros.
- En ríos del norte y la zona central, existen concentraciones importantes de metales, tales como: Cobre, Cromo, Molibdeno, Aluminio y Plomo; cuyo origen es la lixiviación de depósitos metalogénicos naturales. Estas concentraciones naturales se ven aumentadas por actividad antrópica en cuencas donde existe importante actividad minera, por ejemplo: Aconcagua donde se ubica la División Andina de Codelco, Maipo donde se ubican las operaciones de la antigua Disputada de Las Condes hoy día Los Bronces de Anglo-American, y Rapel en cuya parte alta se sitúan las operaciones de la División El Teniente de Codelco.
- El agua de los ríos de las cuencas del Maipo hacia el norte tiende a ser alcalina con pH superiores a 7. Esto normalmente se asocia a presencia de compuestos carbonatados debido a la interacción entre agua y roca, por lo que

se suele interpretar como el resultado de una alta contribución de agua subterránea.

- En algunas cuencas como la del Rapel, se detectaron altas concentraciones de sulfato y elevada conductividad eléctrica debido a la descarga de residuos industriales líquidos (RILES) y aguas servidas.
- Donde existen grandes embalses, como el Puclaro en el Elqui, estos acumulan sedimentos que contienen concentraciones significativas de metales pesados.
- Desde el Rapel hacia el sur, los ríos tienen mejor calidad debido a la ausencia de grandes fuentes de contaminación y a los mayores caudales que permiten mayor dilución. En general, los ríos de la zona sur cumplen con estándares de calidad que las hacen aptas para distintos usos.
- En varias de las cuencas de la zona centro-norte se detectó una fuerte influencia de afloramientos hacia la superficie de agua subterránea en las partes más bajas, los cuales producen una alteración de la calidad del agua superficial en relación con las secciones más altas de los ríos.
- En casi todos los ríos la calidad tiende a ser inferior en las partes más bajas debido a la concentración de efectos antropogénicos y naturales que impactan a sus tributarios.

A pesar de este y otros estudios que han intentado caracterizar la calidad del agua superficial y subterránea en el país, todavía se estima que existe insuficiencia de información y que el número de estaciones que actualmente opera es insuficiente (Valdés-Pineda y otros, 2014).

En Chile existen dos normas principales que regulan la calidad del agua para consumo humano (NCh 409) y para riego (NCh 1333), las cuales fijan estándares para parámetros fisicoquímicos, tales como: pH, temperatura, conductividad eléctrica, turbiedad, demanda química y biológica de oxígeno (DBO y DQO) entre otros, además de concentración de metales (cobre, zinc y otros) y metaloides como el arsénico, y elementos radioactivos. No existe normativa respecto de contaminantes emergentes, tales como microplásticos o productos farmacéuticos en agua. Esto representa una omisión severa considerando la evidencia recopilada en otros países sobre este tema. Aunque la construcción y operación de grandes plantas de tratamiento de aguas servidas

durante las décadas de 1990 y 2000 representó un gran avance en términos de prevención de contaminación orgánica y por patógenos debido a la descarga de aguas servidas, hoy en día representan grandes fuentes potenciales de descarga de contaminantes emergentes, tales como productos farmacéuticos que no son removidos por los sistemas de tratamiento que se aplican en la actualidad.

En el país se desarrollan diversas actividades económicas que se consideran fuentes potenciales de contaminación del agua según la experiencia internacional, tales como: rellenos sanitarios, operaciones mineras, tranques de relaves, agricultura, acuicultura, sistemas de tratamiento de aguas servidas y sitios industriales (por ejemplo, refinerías o sitios de almacenamiento de combustibles). Además, existen lugares del país en que el agua de forma natural presenta altas concentraciones de sustancias que pueden ser tóxicas para el ser humano o el medioambiente, como el arsénico en el norte (Ferrecio y otros, 2000; Ferrecio y Sancha, 2006).

Por su tamaño y por la importancia para la economía nacional, las actividades mineras y el impacto que puedan producir sobre el medioambiente han sido objeto de gran atención durante las últimas décadas. Actualmente, las operaciones de las minas existentes y el diseño de nuevos proyectos consideran los estándares nacionales, pero también, en muchos casos, se rigen por estándares internacionales en cuanto al cuidado del medioambiente. Sin embargo, debido a la naturaleza de tales operaciones y a los pasivos ambientales que han acumulado durante el largo tiempo de desarrollo de la minería en el país, existen varios sitios con actividades mineras que presentan algún grado de contaminación del agua. Por otra parte, otras actividades económicas que pueden producir contaminación de igual o peor magnitud reciben menor atención debido a su menor tamaño relativo a la economía nacional o local, o a su menor visibilidad en términos de impacto en el medio ambiente. En la siguiente sección revisamos algunos ejemplos de casos de contaminación que han ocurrido en Chile y han generado gran interés público.

4.3 Ejemplos de contaminación en Chile

En Chile existen diversos casos de contaminación de aguas que han concitado el interés público debido a su gravedad o al perjuicio que ocasionaron a hábitats de gran interés ambiental. A continuación, revisamos tres de los casos más conocidos que han ocurrido durante las últimas décadas a modo de ejemplo de los problemas que podrían presentarse a futuro.

A) Eutrofización de Lago Villarrica: La eutrofización del Lago Villarrica producto del aumento de algas y bacterias como resultado de una carga importante de nutrientes, tales como fosfatos y nitratos producto en descargas de aguas servidas, es un ejemplo de un caso de contaminación ambiental severa (MMA, 2017). El aumento de la cantidad de algas agotó el oxígeno disuelto provocando una mortandad de peces y otras especies que habitaban en el lago. Además, del daño al medio ambiente, la eutrofización produjo un daño importante a la actividad turística que se desarrolla alrededor del lago producto del cambio de color y olor de las aguas.

B) Caso de muerte de cisnes en Valdivia: En julio de 2013 el Juzgado de Letras de Valdivia condenó a Celulosa Arauco Constitución (CELCO) como autora del daño ambiental ocurrido en el Río Cruces en 2004 debido a la descarga de efluentes industriales desde una recientemente inaugurada planta de Celco (Emol, 2013). Estudios que se hicieron a objeto de determinar la disminución del número de cisnes de cuello negro, la cual se considera una especie sensible y propia de América del Sur entre 2004 y 2005, determinaron que la descargas de efluentes desde la recientemente inaugurada planta provocaron la contaminación del agua del río provocando mortandad de aves y, al mismo tiempo, disminuyeron la cantidad de una planta acuática que es el alimento principal de las aves lo cual produjo una migración importante hacia otros sitios. Información reciente reporta que el sistema se ha recuperado después de la implementación de medidas mitigatorias impuestas por fallos judiciales.

C) Bahía de Chañaral: La descarga desde fines de la década de 1930 de más de 150 millones de toneladas de relaves mineros al Río Salado ha provocado uno de los sitios más contaminados de América del Sur (Bonnail y otros, 2020). La acumulación de relaves ha producido la ocurrencia de concentraciones de metales y metaloides significativamente mayores a las naturales y a los valores considerados seguros para el medio ambiente en metales tales como: Cobre, Zinc, Fierro, Cadmio y Níquel. La contaminación producto de los relaves generó la extinción de la vida marina en la bahía, el embancamiento de la playa de Chañaral, y la contaminación de un sector costero que se estima se extiende a más de 30 kilómetros desde la desembocadura del Río Salado. El impacto de esa contaminación se vio amplificado por aluviones que en 2016 removilizaron los sedimentos previamente acumulados en la costa.

4.4 Lecciones y desafíos a futuro

Los problemas de contaminación del agua tienen diverso origen, en algunos casos naturales y en otros por acción humana. En ambos casos entender la secuencia de procesos y hechos que resultan en una degradación de la calidad del agua es muy complejo. Por una parte, es difícil determinar el origen de la contaminación, particularmente en casos de contaminación difusa o de antiguo origen. Por otra, la migración de contaminantes en medios acuáticos depende de varios procesos físicos que, aunque conocidos, son difíciles de cuantificar y modelar. Por último, la complejidad del problema puede aumentar de forma exponencial en casos de sustancias que pueden sufrir transformaciones químicas o pueden reaccionar con el medio, por ejemplo, a través de procesos de precipitación o disolución o mediante la adsorción en sedimentos suspendidos en ríos o en el fondo de lagos, o en la roca que conforma los acuíferos. La complejidad de identificar y entender todos esos procesos y su resultado combinado dificulta el estudio de problemas asociados a la calidad del agua, y hace difícil y muy costoso limpiar o remediar sistemas contaminados. Por lo tanto, prevenir toda nueva contaminación de sistemas acuáticos naturales debe ser un objetivo prioritario para las próximas décadas.

5. GESTIÓN DEL AGUA

La gestión del agua en Chile, es decir la distribución de la cantidad disponible en cuotas para distintos usos, se ha implementado desde hace más de cuatro décadas mediante un sistema que se considera único en el mundo, el cual utiliza al mercado como regulador de los distintos intereses por su uso. La implementación del sistema se basó en el Código de Aguas de 1981 que reconoció el concepto del agua como un bien económico mediante la definición de derechos de aguas comercializables y separados de la propiedad de la tierra y del objetivo del uso.

5.1 Mercado del agua

Existen distintos mecanismos para asignar el agua, sin embargo, se considera que cualquier sistema eficiente de asignación debe, al menos, cumplir con los siguientes requisitos (Donoso y otros, 2000): ser flexible, otorgar seguridad en el uso, traspasar el costo de oportunidad a los usuarios, ser equitativo y propender al bien común. En el caso de Chile se considera que el mercado es un mecanismo de asignación eficiente que cumple con la mayoría de los requisitos de un sistema ideal (Ríos y Quiroz, 1995; Donoso y otros, 2000). Como en otros mercados se

asume que, bajo la premisa de información perfecta, la existencia de tomadores de decisiones imparciales y un número adecuado de agentes; el mercado es un mecanismo eficiente para encontrar un precio de equilibrio que maximice el beneficio social que resulta del uso del agua. En la práctica se observa que el mercado del agua en Chile es absolutamente imperfecto, con asimetrías de información, no es equitativo y no propende al bien común. La maximización del beneficio privado atenta contra la maximización del bienestar colectivo. Por estas razones el profesor C. Bauer lo considera un “canto de sirena” (Bauer, 2015) que conduce al precipicio y al colapso del recurso. El mercado chileno del agua ha conducido a la sobreexplotación del recurso porque no tiene ninguna regulación (Comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos).

Los derechos de aprovechamiento de aguas otorgados en Chile son independientes de la propiedad de la tierra, minas u otros bienes, además de no estar ligados a fines específicos de utilización, por lo cual pueden transarse y ser destinados a otros fines sin necesidad de demandar autorización. La posibilidad de cambiar el uso de los derechos es uno de los fundamentos esenciales del modelo chileno dado que permite que el mercado actúe como un asignador óptimo de un bien escaso como el agua, de tal forma de maximizar la productividad económica dada una cantidad de agua disponible. Se asume que las transacciones de derechos de aprovechamiento consideran de forma íntegra los beneficios económicos y las externalidades positivas y negativas que la utilización del agua puede generar. Llevado al extremo, los derechos de agua otorgados pueden no utilizarse si su no uso representa una rentabilidad positiva (Ríos y Quiroz, 1995), lo cual fue común hasta la promulgación del pago de patentes por la no utilización de derechos otorgados que se implementó el año 2005. Esta “regulación” no ha impedido que los DAA se sigan concentrando y no ha detenido la especulación sobre un bien nacional de uso público, que por definición no es sujeto de dominio privado (Comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos).

El sistema chileno es un caso excepcional, ya que son pocos los países que han implementado este esquema de asignación (Donoso y otros, 2000; Banco Mundial, 2011). Debido a su excepcionalidad se han realizado múltiples estudios de la eficacia del modelo chileno, los cuales no han sido concluyentes (Ríos y Quiroz, 1995; Donoso y otros, 2001). En teoría, el principal motor del mercado del agua debe ser su escasez o abundancia. Sin embargo, en la práctica existen otros

factores relevantes, tales como: el costo de las transacciones que incluye el desarrollo de nueva infraestructura para la producción, captación y/o transporte de agua, además de costos administrativos y legales (Ríos y Quiroz, 1995; Donoso y otros, 2001).

Diversos análisis del funcionamiento del mercado del agua en distintas cuencas de Chile, han demostrado que en ciertos casos su tamaño y dinamismo es acotado. Por ejemplo, entre 1993 y 1999 se realizaron 793 transacciones de derechos, equivalentes a 3.7 m³/s en la primera sección del río Maipo, lo cual representa sólo un 1.7% del caudal total disponible para ser transado. Otros análisis llegaron a conclusiones similares, es decir que el monto de las transacciones de derechos era relativamente menor, al menos durante las primeras décadas de operación del mercado del agua implementado por el Código de Aguas de 1981 (Ríos y Quiroz, 1995). La ocurrencia de pequeños mercados con poca liquidez resulta en una gran variabilidad de precios, la cual en algunos casos excede el valor promedio de los derechos. Otra consecuencia de la existencia de mercados pequeños con agentes de tamaños muy disímiles, por ejemplo, empresas sanitarias en comparación a agricultores, es que se produce una gran disparidad en el poder de negociación, lo que a menudo resulta en que los agentes de mayor tamaño paguen un precio significativamente menor al promedio. Mientras la baja profundidad del mercado, es decir la baja magnitud de transacciones en comparación al tamaño potencial, no se considera per se una característica de un mercado imperfecto, la gran dispersión de precios sí se considera como una señal clara de un funcionamiento deficiente (Donoso y otros, 2001).

Varios factores han dificultado el funcionamiento óptimo del mercado del agua en la práctica. Existen incompatibilidades entre los dueños de derechos que dificultan o imposibilitan el ejercicio práctico del uso libre de estos, por ejemplo, para su traslado a una ubicación distinta o la competencia entre tenedores de derechos consuntivos y no consuntivos (Ríos y Quiroz, 1995). En algunos casos han surgido soluciones ad hoc para hacer frente a las restricciones que impone el funcionamiento real de los mercados, como la aparición de transacciones de derechos temporales de aprovechamiento entre usuarios que involucran menores restricciones al cambio de su ubicación. Elementos adicionales que dificultan el funcionamiento del mercado del agua son: la variabilidad temporal del recurso, la distinta naturaleza del uso (consuntivo versus no consuntivo) y la distribución geográfica de puntos de entrega y

captación de derechos no consuntivos, entre otros (Ríos y Quiroz, 1995).

Adicionalmente, se considera que el funcionamiento deficiente del mercado del agua en algunas cuencas se debe a falta de información relevante, por ejemplo, sobre la cantidad real de agua disponible. La distinción que hace el Código de Aguas de 1981 entre derechos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas, impone una demanda adicional de información para entender de forma detallada el funcionamiento de los sistemas hidrológicos de las distintas cuencas del país. Finalmente, el funcionamiento del mercado del agua también se ha visto afectado por la dificultad que existe para fiscalizar las extracciones de agua en un país como Chile que se extiende por más de 4,000 km, presenta una geografía que dificulta el acceso y tiene grandes zonas con poca o nula población.

5.2 Legislación relacionada al agua

En esta sección presentamos una breve síntesis de la evolución histórica de la normativa referente al agua en Chile con el objetivo de proveer elementos de juicio respecto de la actual discusión en torno a la propiedad y asignación del agua que se ha llevado a cabo como parte de la recientemente promulgada modificación al Código de Aguas y la Convención Constitucional. Un análisis más completo se incluye en el Anexo B.

Desde la época de la colonia, las normas que rigen el uso del agua han evolucionado a medida que los usos de esta se tornan más complejos. En Chile como en el resto de Iberoamérica, las normas respecto del uso del agua están inspiradas en el Derecho Romano y las tradiciones de España, las cuales se desarrollaron como una forma de organizar el uso de un recurso, en general, escaso en las regiones de Europa mediterránea. En esa tradición el agua era considerada un bien de carácter común y público cuya asignación recaía en una autoridad central. Más recientemente, la legislación del agua en Chile se ha visto influenciada por la tradición de la Ley Común (*Common Law*) de origen Anglo-Sajón que se desarrolló en Europa del norte en regiones con abundancia de agua. En esa tradición, todos los recursos pueden ser transados e intercambiados.

La evolución de la normativa referente a la administración del agua en Chile comienza casi con el nacimiento de la República y ha continuado hasta nuestros días. Los principales hitos de esta evolución son:

a) Decreto Supremo del 18 de noviembre de 1819 firmado por Bernardo O'Higgins.

b) Ley de Municipalidades del 8 de septiembre de 1854 que otorgó a las municipalidades la facultad de administrar las aguas con algunas excepciones.

c) Código Civil de 1855, el cual establecía aguas de tres tipos: comunes, nacionales de uso público y de dominio privado. Posteriormente, se introdujeron otras modificaciones tendientes a establecer procesos para dirimir conflictos relativos al reparto de aguas en el Código de Procedimiento Civil de 1902.

d) Código de Aguas de 1951, estableció un derecho de aprovechamiento real cuyo reconocimiento y aplicación era universal (*erga omnes*). El derecho de aprovechamiento incluía el uso, goce y disposición de las aguas; podía utilizarse sólo para los fines con que había sido concedido y era de carácter ilimitado en el tiempo, aunque estaba sujeto a causales de caducidad.

e) Reforma al Código de Aguas de 1969, surgió como resultado de la Reforma Agraria y consistió en las modificaciones introducidas en la Ley 9909 y Ley de Reforma Agraria 16,640. Establecía que todas las aguas son bienes nacionales de uso público, y que su uso para beneficio particular sólo podía efectuarse previa concesión de un derecho de aprovechamiento por una autoridad competente. Incluía cláusulas que establecían los requisitos para la expropiación de los derechos existentes a la fecha, y establecía prohibición para su cesión o enajenación. El derecho que se reconocía era real administrativo y por ende precario en comparación a los que se establecería con el Código de 1981.

f) Código de Aguas de 1981, promulgado el 13 de agosto de 1981, tuvo como origen la dictación del Decreto Ley 2603 del 23 de abril de 1979, el cual reconocía a los titulares de derechos de aprovechamiento la propiedad sobre estos, transformándolos en derechos reales y separando la propiedad de la tierra y el agua. Estos cambios dieron origen al nacimiento de un mercado del agua que posibilitó las transacciones entre privados y, también, la especulación. El resultado de tal sistema ha sido la concentración del mercado del agua en pocas empresas de gran tamaño de los sectores sanitarios, eléctrico y agrícola, lo cual ha significado potenciales conflictos entre los diferentes usuarios.

En el caso de la agricultura siempre existió un sistema de distribución y uso del agua para riego, el cual se basaba en una relación entre la cantidad de agua y la superficie de la propiedad agrícola. Es decir, la superficie que tuviese un predio determinaba la cantidad de agua que le correspondía. Para efectos de la asignación de las cuotas de agua, esa relación se

denominaba regadores. Por lo tanto, siempre hubo un procedimiento administrativo que permitía mantener orden en cuanto a la distribución del agua. Ese mecanismo de distribución se aplicaba a través de juntas de vigilancia y asociaciones de regentes. Una deficiencia de ese sistema tradicional era que la superficie cultivada podía ser inferior a la superficie del predio, por lo que existía la posibilidad de sobre otorgar volúmenes de agua que no se utilizaban de forma eficiente. El Código de Aguas de 1981, en la práctica sólo convirtió las cuotas de agua o “regadores” en derechos de aprovechamiento transables, con todo lo que eso implica.

g) Ley N° 20,017 de 2005, la cual estableció el pago de patentes por no uso de los derechos de aprovechamiento, como una medida para controlar la especulación. Se establece que estarán sujetos al pago de patente todos los propietarios de derechos que no demuestren la existencia de obras para la utilización de los derechos consuntivos o para la restitución de derechos no consuntivos (Rivera y Vergara, 2014). La existencia de otras causales de excepción para el no pago de patentes ha traído varios conflictos en la aplicación de esta norma.

h) Reforma al Código de Aguas de 2022, mediante publicación de la Ley 21

i) 345 el 06 de abril de 2022. Incorpora varias modificaciones que, aunque mantienen los fundamentos del Código de Aguas de 1981 en cuanto al carácter real y propiedad de los derechos de aguas concedidos con anterioridad a la promulgación de las reformas (Cardemil, 2022), intentan mejorar sustancialmente la anterior normativa en lo referente a:

- Los nuevos derechos tendrán una duración de 30 años prorrogable automáticamente, salvo que la DGA pruebe su no uso o la afectación de la fuente.
- Establece una priorización del uso del agua para consumo humano, saneamiento y uso doméstico de subsistencia, la cual es aplicable para el otorgamiento de nuevos derechos y para la dictación de medidas de excepción que restringen el uso de derechos otorgados.
- Establece que el acceso al agua para consumo humano y saneamiento es un derecho humano esencial e irrenunciable que debe ser garantizado por el Estado (Art. 5).

- Crea los derechos con fines de conservación del medio ambiente o desarrollo del turismo y actividades recreativas.
- Amplía las restricciones para la constitución de nuevos derechos en glaciares y otras zonas de protección ambiental.
- Establece una nueva forma de cálculo para el pago de patentes por no uso de derechos otorgados, que se reajusta cada 5 años.
- Fortalece las atribuciones de la DGA para declarar zonas de escasez hídrica con el objetivo de garantizar el abastecimiento de agua para consumo humano y saneamiento.
- Restringe el uso de las aguas del minero, es decir las aguas subterráneas alumbradas como parte de las operaciones mineras.
- Establece nuevas medidas de restricción y control en el caso de acuíferos declarados como Áreas de Restricción o Zonas de Prohibición. Entre otras: obliga a la creación de Comunidades de Aguas Subterránea y la implementación de dispositivos para medir el consumo de agua subterránea en tales zonas. Facilita el desarrollo de la recarga artificial de acuíferos mediante la autorización de la recarga con agua lluvia sin autorización de la autoridad.
- Fortalece las facultades de la DGA para el establecimiento de caudales ecológicos mínimos.
- Establece la obligatoriedad de que la DGA desarrolle Planes Estratégicos de Recursos Hídricos para cada cuenca del país, los cuales deben ser actualizados cada 10 años.
- Establece una medida transitoria en relación a la obligatoriedad de la inscripción de los derechos actualmente otorgados en el C.B.R. y el registro público de la DGA en un plazo no mayor a 18 meses desde la publicación de la ley.

Además de la normativa específica que regula la concesión de derechos de agua, existen varios otros grupos de normas con distinto fin que también regulan su uso y el ejercicio efectivo de los derechos otorgados. Por ejemplo, durante los últimos años la preocupación creciente por la conservación del medio ambiente ha resultado en la implementación de un marco de normas que específicamente se orientan a ese fin. Por lo tanto, existe hoy en día una cierta

sobreposición entre la normativa ambiental y la que regula el otorgamiento y uso de derechos de aprovechamiento de aguas, la cual en algunos casos redundando en ciertas contradicciones jurídicas (el Anexo C presenta detalles sobre este punto). Por ejemplo, el permiso para la ejecución de muchos proyectos relacionados a actividades económicas, tales como minería, sanitarias y gran industria; requieren Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) que pueden limitar el ejercicio de derechos de agua existentes.

La reciente reforma al Código de Aguas promulgada en 2022 restringe el uso de derechos de aprovechamiento en áreas protegidas y limita el otorgamiento de nuevos derechos sólo a casos en que estos sean compatibles con la conservación del medio ambiente. Por lo que, en la práctica, el otorgamiento y el ejercicio de derechos de agua en zonas de protección ambiental se encuentran sujetos al Derecho Ambiental y a la injerencia de múltiples organismos del Estado, tales como: DGA, Ministerio de Medio Ambiente, Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), Corporación Nacional Forestal (CONAF), etc.; con objetivos y preocupaciones que algunas veces pueden ser disímiles.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La especial geografía, las características de las principales actividades económicas y la dispar distribución de la población del país, hacen que Chile presente desafíos particulares en relación a los recursos hídricos.

Por una parte, la desigual abundancia de agua entre las regiones del Norte y Sur, determinan que exista una excesiva escasez de agua en las regiones del extremo norte, mientras las regiones del extremo sur son una de las zonas con mayores fuentes de agua dulce del planeta. La abundancia de agua en esas zonas es aún más importante si se considera la escasa población que habita en ellas. Por otra parte, la excesiva concentración de población, actividad minera e industrial, pero particularmente agricultura en la zona central, redundan en una demanda de agua que es superior a la disponible. La sequía que ha afectado la zona centro-norte desde hace más de una década ha agravado el déficit de agua y ha revelado la complejidad de abordar el problema de su gestión hacia el futuro. Las medidas de excepción decretadas por la Dirección General de Aguas (DGA) en años recientes para racionar y priorizar el uso del agua disponible en distintas cuencas del país, alterando la

asignación del agua según los derechos de aprovechamiento inscritos en sus registros, dan cuenta de la gravedad del problema. Es probable que, de no mediar cambios, la situación de escasez de agua en la zona central sea crítica debido a un potencial aumento de la población, la mayor demanda producto del desarrollo económico y los potenciales cambios en los patrones climáticos como consecuencia del calentamiento del planeta.

Las alternativas que surgen para paliar el déficit de agua en las regiones que enfrenten una situación de gran demanda frente a oferta limitada son de tres tipos: aumento de la capacidad para almacenar agua, desarrollo de nuevas fuentes y cambios en la gestión. Entre las primeras, la recarga artificial de acuíferos presenta varias ventajas frente a otras alternativas, tales como no requerir la construcción de grandes obras que pueden alterar el medio ambiente, representar grandes volúmenes potenciales de almacenamiento que puede ser usado para regular la demanda de agua a nivel estacional o inter-anual, además de ser un método eficiente de almacenamiento debido a que minimiza las pérdidas por evaporación, las cuales pueden ser significativas en la zona centro-norte de Chile que recibe gran radiación solar. La principal limitante actual para el desarrollo a gran escala de proyectos de recarga artificial en la zona central, donde podría proporcionar mayor beneficio, es poder contar con agua en abundancia que pueda ser almacenada para su posterior uso.

En cuanto al segundo tipo de alternativas para hacer frente a la creciente escasez hídrica, la desalación de agua aparece como la más atractiva, como lo demuestra el número creciente de plantas desaladoras que actualmente operan en el país o que se encuentran en etapa de construcción o evaluación. La desalación es particularmente viable en el caso de Chile en que la mayoría de los grandes centros de consumo de agua se encuentran a menos de 100 km de la costa y a poca elevación. Actualmente, se considera factible cubrir al menos una parte significativa de la demanda de agua potable de las principales ciudades del país mediante desalación, lo cual permitiría aliviar la presión que existe por asegurar el suministro para ese vital uso. Los actuales costos de construcción y operación de las plantas desaladoras han hecho que varias empresas mineras de gran tamaño hayan decidido reemplazar sus fuentes de abastecimiento de agua tradicional por agua desalada, de tal forma de eliminar el riesgo que representa para sus operaciones una situación de escasez a futuro. La desalación de agua con las actuales técnicas disponibles, ósmosis inversa o evaporación, es intensiva en el uso de energía.

Afortunadamente, Chile cuenta con fuentes para la generación de energía renovable de gran potencial, las cuales permitirían cubrir la demanda de energía con costos razonables.

En cuanto al tercer tipo de alternativas para paliar el déficit hídrico, es probable que la realidad en cuanto a la escasez de agua continúe fomentando cambios en la agricultura que tiendan a privilegiar cultivos que requieren menos agua y a aumentar la cobertura de métodos de riego más eficientes. Sin embargo, la planificación y el fomento a la migración interna a zonas con mayor seguridad hídrica debiese ser una prioridad del Estado para las siguientes décadas.

En el caso particular del abastecimiento de agua para la agricultura que presenta restricción de costos y demanda una gran cantidad de agua, los desafíos a futuro son continuar el proceso de tecnificación del riego (*la tecnificación del riego tiene efectos ambientales negativos y no ha logrado reducir el consumo de agua en la agricultura. Por el contrario, ha impulsado la expansión del área cultivada, con el consiguiente aumento de la demanda del sector agrícola, afectando la disponibilidad para otros usuarios, por ejemplo, para sistemas de agua potable rural (APR) y servicios ecosistémicos como la protección de los humedales: Comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos*). a nivel predial cuidando de no afectar drásticamente los equilibrios de los sistemas de agua subterránea debido a una reducción de la recarga efectiva, acelerar la construcción y recuperación de embalses, mejorar la eficiencia de la red de conducción y distribución, y explorar nuevas fuentes de agua. En la medida que los costos de energía sigan bajando, es posible que el agua desalada, sea una alternativa real para el agro en las Regiones IV, V y Metropolitana.

Todos los antecedentes disponibles respecto del uso del agua en el país indican que la seguridad de su abastecimiento en las zonas norte y centro se ha basado fundamentalmente en la utilización de aguas subterráneas, las que también presentan signos claros de agotamiento. Ante esta realidad, urge desarrollar estudios que permitan una mejor caracterización de los acuíferos en cuanto a su relación con los cuerpos de agua superficiales y la magnitud de la recarga sustentable de mediano y largo plazo. Lo anterior es aún más urgente si se reconoce el rápido declive de los caudales de varios ríos del país que hasta ahora han recibido aportes significativos desde afloramientos o descargas de agua subterránea.

El marco regulatorio para la asignación del agua establecido por el Código de Aguas de 1981, recientemente modificado en abril de 2022, es único en el mundo. Se sostiene sobre las ideas del libre mercado, las cuales consideran al mercado como el mejor asignador de recursos. Estudios de la realidad del mercado del agua en Chile indican que varios de los supuestos en que se basa la teoría económica para justificar la asignación del recurso de esta forma, no se cumplen. Entre otras, el pequeño tamaño del mercado en varias cuencas del país hace difícil que se pueda alcanzar el equilibrio óptimo entre la oferta y demanda que es requisito para el funcionamiento eficiente del libre mercado. Por otra parte, el agua como recurso presenta características especiales que dificultan o hacen imposible aplicar la operación del mercado a cualquier evento. Primero, el agua es esencial para la vida humana y para la mayoría de las actividades económicas, por lo tanto, todas las legislaciones del mundo consideran situaciones de excepción que suspenden o restringen los derechos de uso concedidos cuando esta escasea. También se observa que en varios países de la OECD (por ejemplo, Francia) se han establecidos causales de extinción de derechos cuando el titular no respeta normas preestablecidas sobre el uso racional y beneficioso, o posterior al otorgamiento del derecho se establece que ha entregado antecedentes falsos al momento de solicitarlos (Comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos). Esto hace que, en la práctica, la seguridad jurídica que otorgan los derechos de aprovechamiento sea limitada, lo cual elimina gran parte de los beneficios que se otorgan al actual sistema de asignación. Segundo, de forma natural el agua es un bien finito cuyo límite actualmente se acerca o es inferior a la demanda potencial, por lo que su oferta es acotada lo que puede dar lugar a desviaciones en la operación de un mercado perfecto. Los requisitos sobre los cuales se puede establecer la existencia de un mercado del agua en Chile son prácticamente inexistentes: no es posible determinar cuál es el precio de equilibrio que se podría derivar del funcionamiento del supuesto mercado, no existe ningún tipo de regulación sobre el mismo, algo que es absolutamente necesario dadas las características de este bien. A esto se agrega la alta concentración que se observa en los caudales otorgados lo que resulta en un severo desbalance entre los distintos usuarios para acceder al agua, un bien que desde el Código Civil se ha definido como un bien nacional de uso público (Comentario de Reinaldo Ruiz, ex Delegado Presidencial para los Recursos Hídricos).

Existen varias experiencias que indican que el actual sistema de asignación introduce dificultades para la aplicación de medidas de gestión del agua modernas. Por ejemplo, ha dificultado la implementación de sistemas de recarga artificial de acuíferos debido a la falta de claridad respecto de la propiedad del agua recargada y del uso que se le puede dar. En este sentido, para posibilitar el desarrollo de proyectos de recarga artificial se han debido introducir varias modificaciones al código, además de normas y reglamentos. Otro ejemplo, son las dificultades legales que han debido ser superadas para la reutilización de las aguas servidas tratadas. Finalmente, cabe mencionar las potenciales trabas legales y administrativas que pueden encontrar grandes proyectos de desalación para el abastecimiento de ciudades o diversas actividades económicas.

Cualquier mejora en la eficiencia en el uso del agua debe considerar el marco regulatorio vigente en el país. En ese sentido, la actual discusión en torno a cambios en la normativa del agua introduce cierta incertidumbre que dificulta la planificación a mediano y largo plazo. Por lo tanto, es deseable que los cambios que se discuten se apliquen a la brevedad para despejar el camino a una discusión seria sobre la distribución eficiente del agua en el país.

Aunque la discusión en torno al agua en Chile como en el resto del mundo se ha centrado hasta ahora en su relativa abundancia o disponibilidad, existen argumentos científicos y prácticos de importancia que indican que problemas relacionados a su calidad pasarán a ser más relevantes durante las próximas décadas (Banco Mundial, 2011). En este sentido urge realizar una mejor caracterización de la calidad natural del agua en las distintas cuencas, así como un catastro de las principales fuentes potenciales de contaminación, sumado a la dictación de normas que fijen estándares para las concentraciones de contaminantes emergentes, tales como productos farmacéuticos y otras sustancias sintéticas utilizadas

en actividades industriales y agrícolas. Respecto de este último punto, el país se encuentra atrasado con respecto a países más avanzados en al menos un par de décadas.

En resumen, la situación de la disponibilidad de agua en varias regiones de Chile es preocupante y está produciendo varias dificultades tanto a nivel de la vida doméstica, como en el desarrollo de actividades económicas. Afortunadamente, existe la posibilidad real de resolver gran parte de esos problemas mediante una planificación adecuada y voluntad política para impulsar el desarrollo de proyectos de infraestructura de gran escala como plantas desaladoras. La solución a los problemas actuales también requiere voluntad política para introducir cambios sustanciales al actual sistema de asignación del agua, fundamentalmente en lo que dice relación con la existencia de derechos de aprovechamiento comercializables, los cuales han contribuido poco a mejorar la eficiencia en el uso del agua y han, por el contrario, representado barreras para la adopción de medidas modernas de gestión que actualmente operan en otros países, tales como la recarga artificial de acuíferos o la reutilización de aguas servidas tratadas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Anneli Gramusset por sus comentarios a una versión preliminar de este documento, particularmente, la sección sobre calidad del agua. También agradecen a los participantes de un taller de discusión sobre el contenido de este documento que se llevó a cabo en enero de 2023, por su tiempo y las ideas y comentarios que aportaron durante el taller. Los comentarios recibidos ayudaron a mejorar la versión final de este documento.

Los autores agradecen al proyecto ANID BASAL FB210015

REFERENCIAS

- Aberbach, S. H., y Sellinger, A. (1967). Review of artificial groundwater recharge in the coastal plain of Israel. *Hydrological Sciences Journal*, 12(1), 65-77.
- Arumí, J. y Rivera, D. (2021). ¿Cómo mejorar la institucionalidad hídrica en Chile? CIPER Chile, publicada el 02 de julio de 2021, consultada el 15 de noviembre de 2022.
- Banco Mundial (2011). Chile: Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Banco Mundial.
- Banco Mundial (2013). Chile: Estudio para el mejoramiento del marco institucional para la gestión del agua. Departamento de Desarrollo Sostenible, Banco Mundial.

- Bauer, C.J. (2015). Canto de sirenas. El derecho de aguas chileno como modelo para reformas internacionales. Ediciones Y Publicaciones El Buen Aire S.A.
- BCN (2016). Glaciares de Chile. Departamento de Estudios, Extensión y Publicaciones, Asesoría Técnica Parlamentaria 281 (3-4):242-268. Biblioteca del Congreso Nacional, consultado el 10 de junio de 2022.
- BCN (2019). La propiedad del agua desalada en Chile y otros países: Casos de España, Argelia, Estados Unidos, Australia e Israel. Asesoría Técnica Parlamentaria Comisión Especial sobre Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía del Senado. Biblioteca del Congreso Nacional, consultado el 15 de noviembre de 2022.
- Bío-Bío (2022). Comisión de la Convención aprueba en general terminar con derechos de aprovechamiento de agua. Bío-Bío Chile, publicada el 03 de febrero de 2022, consultada el 27 de febrero de 2022.
- Boettiger, C. (2019). Nueva institucionalidad para el agua: La importancia de un buen diseño regulatorio. Universidad del Desarrollo.
- Bonnail, E., Cruz-Hernández, P., Galleguillos, S., Izquierdo, T., y Abad, M. (2020). La contaminación metálica en la bahía de Chañaral (norte de Chile): Retrospección, prospección y proyección. *Geogaceta*, 67, 59-62.
- Bredehoeft, J. D. (2002). The water budget myth revisited: Why hydrogeologists model. *Groundwater*, 40(4), 340-345.
- Brenning, A. (2008): The impact of mining on rock glaciers and glaciers: examples from Central Chile. In: B. S. Orlove, E. Wiegandt y B. Luckman (eds.), *Darkening peaks: glacier retreat, science, and society*. University of California Press, Berkeley. Chapter 14, p. 196-205.
- Brenning, A.; y Azócar, G. (2010). Minería y glaciares rocosos: impactos ambientales, antecedentes políticos y legales, y perspectivas futuras. *Revista de geografía Norte Grande*, (47), 143-158.
- Cardemil, A. (2022). Entra en vigor la reforma al Código de Aguas. *Carey Abogados*, publicado el 08 de abril de 2022, consultado el 23 de agosto de 2022.
- Carrasco, J., Cassasa, G., Pizarro, R. y Saravia M. (2011). Impactos del Cambio Climático, Adaptación y Desarrollo en las Regiones Montañosas de América Latina.
- CPI (2019). Megasequía impulsa desarrollo de desaladoras en Chile: ya hay 24 plantas operando y hay otros 22 proyectos en diferentes etapas de avance. Consejo Público de Infraestructura, publicada el 07 de octubre de 2019, consultada el 15 de noviembre de 2022.
- Custodio, E., Albiac, J., Cermerón, M., Hernández, M., Llamas, M. R., y Sahuquillo, A. (2017). Groundwater mining: Benefits, problems and consequences in Spain. *Sustainable Water Resources Management*, 3(3), 213-226.
- Damania, R., Desbureaux, S., Rodella, A. S., Russ, J., y Zaveri, E. (2019). *Quality unknown: the invisible water crisis*. World Bank Publications.
- Daughton, C. G., y Ternes, T. A. (1999). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change? *Environmental Health Perspectives*, 107(suppl 6), 907-938.
- DGA (1988). Balance Hídrico de Chile. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- DGA (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.
- DGA (2008). Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- DGA (2016). Atlas del Agua. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- DGA (2016b). Guía metodológica para presentar proyectos de recarga artificial de acuíferos. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

- DGA (2017), Actualización del Balance Hídrico Nacional, SIT N° 417, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: Universidad de Chile y Pontificia Universidad Católica de Chile.
- DGA (2017b). Estimación de la Demanda actual, Proyecciones Futuras y Caracterización de la Calidad de los Recursos Hídricos en Chile. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- DGA (2019), Desarrollo de Herramienta para el Análisis de Gestión en el Marco del Plan Nacional de Recursos Hídricos, SIT N° 445, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile, Realizado por: DICTUC S.A. y SEI.
- DGA (2020). Atlas Calidad del Agua. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- DGA (2021). PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL MAIPO. S.I.T. N° 471. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por ICASS SpA.
- DGA (2022). Registro público consolidado de derechos de aprovechamiento de agua concedidos. Ministerio de Obras Públicas, Chile (planilla Excel descarga desde https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.asp x el 01 de marzo de 2022).
- Diario Financiero (2019). Aguas Andinas evalúa uso de agua tratada para recarga de acuíferos y consumo humano, publicado 04 de diciembre de 2019, consultado el 08 de octubre de 2022.
- Dillon, P., Stuyfzand, P., Grischek, T., Lluria, M., Pyne, R. D. G., Jain, R. C., ... y Sapiiano, M. (2019). Sixty years of global progress in managed aquifer recharge. *Hydrogeology journal*, 27(1), 1-30.
- Donoso, G., Montero, J. y Vicuña, S. (2001). Análisis de los mercados de derechos de aprovechamiento de agua en las cuencas del Maipo y el sistema Paloma en Chile: Efectos de la variabilidad en la oferta hídrica y de los costos de transacción. *Revista de derecho administrativo económico de recursos naturales*, Pontificia Universidad Católica de Chile, 3(2).
- El Mostrador (2022). Senado aprobó reforma al Código de Aguas tras 11 años en el Congreso. *El Mostrador*, publicado el 13 de enero de 2022, consultado el 27 de febrero de 2022.
- Emol (2011). Advierten sobre inminente fallo desfavorable de Corte Suprema en venta de aguas tratadas, publicado el 01 de abril de 2011, consultado el 10 de 08 de 2022.
- Emol (2013). Condenan a Celulosa Arauco por daño ambiental que provocó muerte de cisnes en Valdivia, publicado el 27 de julio de 2013, consultado el 27 de marzo de 2022.
- EPA (2022). Superfund Program. U.S. Environmental Protection Agency, <https://www.epa.gov/superfund>, consultado el 27 de febrero de 2022.
- EPA (2022b). History of the Clean Water Act, <https://www.epa.gov/lawsregulations/history-clean-water-act>, consultado el 15/ago/2022.
- Ferreccio, C., González, C., Milosavljevic, V., Marshall, G., Sancha, A. M., y Smith, A. H. (2000). Lung cancer and arsenic concentrations in drinking water in Chile. *Epidemiology*, 673-679.
- Ferreccio, C., y Sancha, A. M. (2006). Arsenic exposure and its impact on health in Chile. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 164-175.
- Flint, A. L., Ellett, K. M., Christensen, A. H., y Martin, P. (2012). Modeling a thick unsaturated zone at San Geronio Pass, California: lessons learned after five years of artificial recharge. *Vadose Zone Journal*, 11(4).
- Freeze, A. y Cherry, J. (1979). *Groundwater*. Prentice-Hall.
- Garreaud, R. D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Boisier, J. P., Christie, D., Galleguillos, M., ... y Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010–2015

- megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and earth system sciences*, 21(12), 6307-6327.
- Gies, E. (2019). Slaking the World's Thirst with Seawater Dumps Toxic Brine in Oceans. *Scientific American*, publicado el 07 de febrero de 2019, consultado el 10 de agosto de 2022.
- Gleeson, T., Befus, K. M., Jasechko, S., Luijendijk, E., y Cardenas, M. B. (2016). The global volume and distribution of modern groundwater. *Nature Geoscience*, 9(2), 161-167.
- Gleeson, T., Cuthbert, M., Ferguson, G., y Perrone, D. (2020). Global groundwater sustainability, resources, and systems in the Anthropocene. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 48, 431-463.
- Grey, D., y Sadoff, C. W. (2007). Sink or swim? Water security for growth and development. *Water Policy*, 9(6), 545-571.
- Hannah, D., Abbott, B., Khamis, K., Kelleher, C., Lynch, I., Krause, S., y Ward, A. (2022). Illuminating the 'invisible water crisis' to address global water pollution challenges. *Hydrological Processes*, e14525.
- Hadjigeorgalis, E. (2002). Las Reformas al Código de Aguas de 1981. *Revista Agronomía y Forestal UC*, No 16.
- Jara, S. (2020). Variaciones areales, volumétricas y balance de masa del Glaciar San Francisco (periodo 1955-2019) y su correspondencia temporal con la producción de agua en la subcuenca del río Volcán, Región Metropolitana. *Memoria de Pregrado, Ingeniería Forestal, Universidad de Talca*.
- Jara, S. y Casassa, R. (2021). Variaciones de área y volumen del sistema glaciar San Francisco en el periodo 1955-2020, a partir de imágenes satelitales y ley de potencias, cuenca del río Volcán, Región Metropolitana. *Aqua-LAC*, 13(2), 42-52. Recuperado a partir de <https://aqua-lac.org/index.php/Aqua-LAC/article/view/288>
- Konikow, L. F., y Kendy, E. (2005). Groundwater depletion: A global problem. *Hydrogeology Journal*, 13(1), 317-320.
- IPCC (2021). Summary for Policymakers. Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Intergovernmental Panel on Climate Change. Consultado el 10 de junio de 2022, <http://www.ipcc.ch/srocc/chapter/summary-forpolicymakers/2021>.
- La Tercera (2021). La desalación toma fuerza en el norte, aunque aún es costosa para la RM. Publicada el 21 de agosto de 2021, consultada el 01 de marzo de 2022.
- Lluria, M. R. (2009). Successful application of Managed Aquifer Recharge in the improvement of the water resources management of semi-arid regions: Examples from Arizona and the Southwestern USA. *Boletín geológico y minero*, 120(2), 111120.
- Lorca, M. (2020). Medir, Modelar, Gestionar: Información de los Recursos Hídricos. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Presentación ante Comisión Especial de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía del Senado.
- Mizyed, N. R. (2013). Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. *Environmental Science y Policy*, 25, 186-195.
- MMA (2017). D.S. 43 Declara zona saturada por clorofila "A", transparencia y fósforo disuelto, a la cuenca del Lago Villarrica. Ministerio de Medio Ambiente.
- Missimer, T. M., Maliva, R. G., Ghaffour, N., Leiknes, T., y Amy, G. L. (2014). Managed aquifer recharge (MAR) economics for wastewater reuse in low population wadi communities, Kingdom of Saudi Arabia. *Water*, 6(8), 2322-2338.
- MISP (2015). Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015. Delegación Presidencial para los Recursos Hídricos, Ministerio del Interior y Seguridad Pública.
- MOP (2020). Plan de Inversión en Infraestructura y Gestión Hídrica 2020-2050. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- MOP (2021). Mesa Nacional del Agua: Primer Informe. Ministerio de Obras Públicas, Chile.

- Morel, J. (2015). Minería, Agua y Sustentabilidad. Foro Chileno – Alemán de Minería, 24 de noviembre 2015.
- Muchnik, E., Luraschi, M. y Maldini, F. (1997). Comercialización de los derechos de aguas en Chile. Series Desarrollo Productivo, Naciones Unidas.
- Pizarro, R., Arumí, J. L., García-Chevesich, P., Mancilla, G., Stehr, A., Sangüesa, C., ... y Gutierrez-Lopez, A. (2021). Propuestas de actuación a corto y mediano plazo para los recursos hídricos en Chile en escenarios de restricción hídrica. *Aqua-LAC*, 13(2), 1-10.
- Reguemos Chile (2022). Corporación Reguemos Chile, <http://www.reguemoschile.cl/>, consultado el 25/agosto/2022.
- Ríos, M. y Quiroz, J. (1995). The market of water rights in Chile: Major issues. *Cuadernos de Economía*, 97, p. 317-345.
- Rivera, D. y Vergara, A. (2014). Patente por no uso de aguas. Aplicación práctica y conflictos interpretativos. Facultad de Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Saravia, S. y otros (2020). Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe. Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 198 (LC/TS.2020/134), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Scanlon, B. R., Keese, K. E., Flint, A. L., Flint, L. E., Gaye, C. B., Edmunds, W. M., y Simmers, I. (2006). Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(15), 3335-3370.
- Schwarzenbach, R. P., Egli, T., Hofstetter, T. B., Von Gunten, U., y Wehrli, B. (2010). Global water pollution and human health. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 109-136.
- SCM (2017). Experiencia de recarga de acuífero de SCM. Sociedad de Canal del Maipo. 3era Jornada Técnica de ALHSUD, publicado el 21 de junio de 2017, consultado el 14 de marzo de 2022.
- Segovia, R.A. (2015). Caracterización glaciológica de Chile y valoración de servicios ecosistémicos de glaciares en base a mercados reales: Estudio de caso del Monumento Natural El Morado. Tesis para optar al grado de Magister. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 24p.
- Svenning, J. C., Eiserhardt, W. L., Normand, S., Ordonez, A., y Sandel, B. (2015). The influence of paleoclimate on present-day patterns in biodiversity and ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46, 551-572.
- Tizro, A. T., Voudouris, K. S., y Akbari, K. (2011). Simulation of a groundwater artificial recharge in a semi-arid region of Iran. *Irrigation and Drainage*, 60(3), 393-403.
- UNESCO (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020, Organización de las Naciones Unidas, para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Consultado el 10 de junio de 2022.
- Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., García-Chevesich, P., Valdés, J. B., Olivares, C., Vera, M., ... y Helwig, B. (2014). Water governance in Chile: Availability, management and climate change. *Journal of Hydrology*, 519, 2538-2567.
- World Bank (2007). Making the most of scarcity: Accountability for better water management results in the Middle East and North Africa. World Bank Publications.
- World Resources Institute (2015). Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040. Disponible en <https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040>, consultado 10/mar/2023.

Anexo A

Análisis de la información en el Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de la Dirección General de Aguas

La Figura A.1 muestra el número de derechos de aprovechamiento actualmente incluidos en el Registro de la Dirección General de Aguas (DGA, 2022) para cada región del país. Se observa que la mayoría de los derechos corresponden a consuntivos, y que la relación entre el número de derechos superficiales y subterráneos varía considerablemente entre las distintas regiones. En las cuencas del norte, los derechos subterráneos son superiores a los superficiales, mientras que desde el Bío Bío al sur, el número de derechos superficiales es mayor.

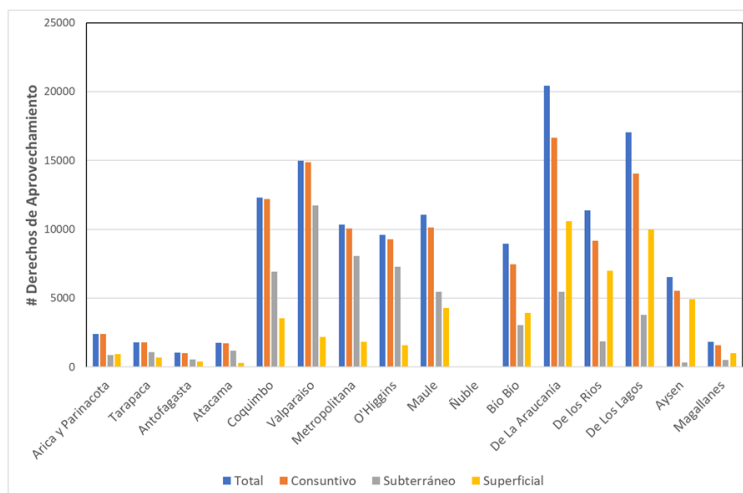


Figura A.1 Número de derechos de aprovechamiento incluidos en el Registro Público de la DGA (DGA, 2022). Derechos subterráneos y superficiales corresponden a consuntivos.

La Figura A.2 muestra el caudal total de derechos asignados por región del país y de aquellos clasificados como consuntivos. La distribución del caudal asignado concuerda con la disponibilidad de agua según el balance hídrico, siendo muy superior en las regiones del sur que en las regiones del norte del país. El caudal total asignado en la Región de Arica y Parinacota es de solo 21 m³/s mientras que llega a más de 2,900 m³/s en la Región de los Lagos. La misma Figura A.2 muestra que mientras casi todo el caudal asignado en la zona norte es de carácter consuntivo, en la zona sur entre las regiones de Bío Bío y Aysén, corresponde en su mayoría a derechos no consuntivos utilizados principalmente para la generación de energía hidroeléctrica. Desde Bío Bío al sur, el porcentaje del caudal total asignado que corresponde a usos consuntivos es inferior al 20%, con excepción de la Región de Magallanes donde alcanza a 46%.

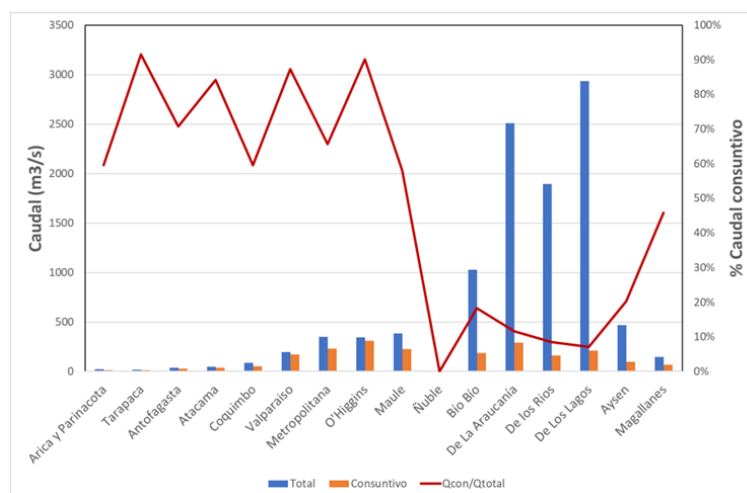


Figura A.2 Caudal total por región según el Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de la DGA (DGA, 2022).
NOTA: Se consideraron solo derechos reportados en litros/segundo.

La Figura A.3 muestra los caudales consuntivos totales asignados en cada región y la fracción de aquellos que corresponden a agua subterránea y agua superficial. Esta figura muestra la mayor utilización de aguas subterráneas en las regiones del norte de

Chile hasta la Región del Maule, siendo el caudal subterráneo asignado superior al superficial para todas esas regiones. El porcentaje del caudal total asignado que corresponde a derechos de aprovechamiento subterráneos es superior al 40% entre el extremo norte (con excepción de la nueva Región de Arica y Parinacota. Es probable que esto se deba a que los derechos de aprovechamiento inscritos en esa zona con anterioridad a la creación de esa región son reportados como inscritos en la Región de Tarapacá) y la Región Metropolitana. Al sur de la Región del Maule, el caudal de agua subterránea representa menos del 10% del total del caudal de uso consuntivo asignado.

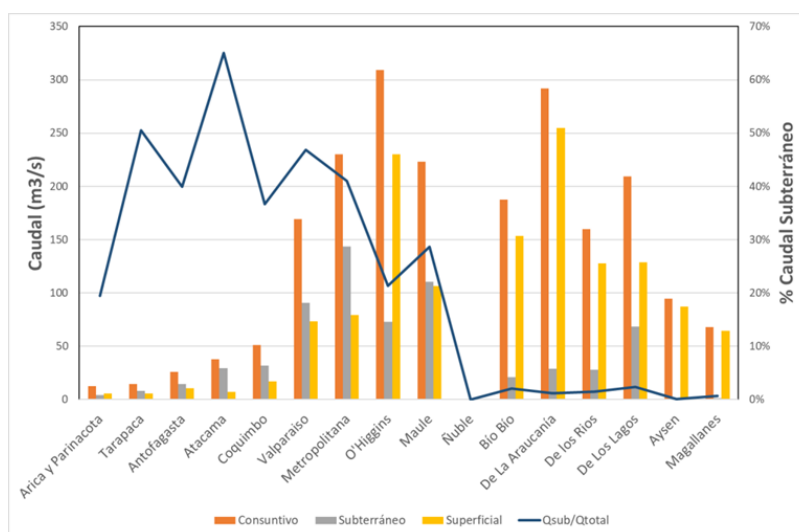


Figura A.3 Caudales totales por región según el Registro Público de Derechos de Aprovechamiento de la DGA (DGA, 2022).
NOTA: Se consideraron solo derechos reportados en litros/segundo.

Anexo B

Derechos de Agua. Todo un sistema en juego

Esta sección pretende ser una breve síntesis de la evolución de la normativa relacionada a los derechos de aguas en Chile, a la luz de la discusión que actualmente se está llevando a cabo en diversas instancias públicas y privadas, como por ejemplo las diversas modificaciones incluidas en el borrador propuesto por la Convención Constitucional en 2022.

Desde la época del descubrimiento del Nuevo Mundo hasta nuestros días, la regulación de las aguas ha ido evolucionando a medida que sus usos se tornan más complejos debido al desarrollo tecnológico y económico. Sumado a lo anterior, se encuentra la preocupación constante por la escasez del recurso en zonas con climas desérticos, junto al interés colectivo porque las aguas sean declaradas como un bien nacional de uso público.

El agua siempre se ha presentado como un bien de carácter común y público. Carácter que fue completamente desvirtuado y no reconocido en la época feudal, en la cual todas las corrientes podían ser materia de disposición del príncipe o de los señores como cualquier otra cosa de su patrimonio. En el caso de Chile y otros países de Iberoamérica, desde la época de la colonia su marco legal ha estado influenciado por la tradición romana y española. Históricamente los romanos y España consideraban a los ríos como bienes comunes y se impedía a los propietarios ribereños afectar de alguna forma el uso de las corrientes, sea para navegación como para pesca.

En Chile, el Decreto Supremo del 18 de noviembre de 1819 firmado por Bernardo O'Higgins es la primera disposición legal promulgada por el Gobierno de la República de Chile con respecto a las aguas.

La Ley de Municipalidades del 8 de septiembre de 1854 otorgaba a las municipalidades la jurisdicción para administrar estas aguas comunes, con la excepción de lo señalado en el Artículo 119, que establece una jurisdicción especial al Presidente de la República para el caso allí señalado.

Posteriormente, el marco legal que regulan el uso y propiedad del agua se incluyeron en el Código Civil de 1855, y los Códigos de Agua de 1951, 1969, 1981 y el recientemente promulgado de 2022.

CÓDIGO CIVIL DE 1855

Este código establecía tres clases de aguas: a.- aguas comunes a todos los hombres, b.- aguas nacionales de uso público, y c.- aguas de dominio privado:

“Los grandes lagos que pueden navegarse por buques de más de cien toneladas, son bienes nacionales de uso público. La propiedad, uso y goce de los otros lagos pertenecen a los propietarios ribereños”

Se reconocía tres tipos de derechos que los particulares podían tener sobre las aguas públicas de la Nación: 1) Derechos legalmente adquiridos con anterioridad al Código Civil; 2) Uso que podía hacer el dueño de una heredad por la que corría o que era bordeada por un curso de agua público, es decir, uso ribereño, y 3) Uso o aprovechamiento por parte de aquellos que estuvieran en posesión de una merced o concesión otorgada por la autoridad respectiva.

Posteriormente, se adoptaron otras disposiciones, tales como las incluidas en el Código de Procedimiento Civil de 1902 que incorporó un procedimiento especial para los conflictos relativos al reparto de aguas entre los comuneros. Allí encuentran su origen las Juntas de Vigilancia y las audiencias de repartición de aguas.

CÓDIGO DE AGUAS DE 1951

El Código de Aguas de 1951 establece un derecho de aprovechamiento de aguas con el carácter de derecho real, esto es un derecho que puede ejercerse *erga omnes*.

El artículo 12 señala “El derecho de aprovechamiento es un derecho real que recae sobre las aguas de dominio público y que consiste en el uso, goce y disposición de ellas en conformidad a las reglas que prescribe este Código”, carácter que fue posteriormente morigerado por la Ley de Reforma Agraria N° 16,640 de 1967.

El derecho de aprovechamiento tenía las siguientes características : i) - era un derecho real, ii) era gratuito, iii) era ilimitado en el tiempo, iv) era un derecho de libre comercio, v) sólo se podía utilizar para los fines para los cuales había sido concedido salvo autorización, vi) sólo podía adquirirse en virtud de una merced otorgada única y exclusivamente por el Presidente de la República, vii) se encontraba amparado por acciones reales, viii) era originario y, por lo tanto, no era susceptible de adquirirse por prescripción, cuando las aguas pertenecían a cauces naturales. El artículo 23 al respecto señalaba: "ni aún el goce inmemorial bastará para constituirlo en cauces naturales"; y ix) estaba sujeto a causales de caducidad.

REFORMA CÓDIGO DE AGUAS REFORMADO DE 1969

El Código de Aguas fue convertido en un texto oficial modificado que incluía las disposiciones del Código de Aguas de 1951 más las modificaciones de la Ley N° 9909 y la Ley de Reforma Agraria N° 16,640.

Sucintamente este código señalaba que todas las aguas del territorio nacional eran bienes nacionales de uso público, y que el uso de las aguas en beneficio particular solo podía hacerse en virtud de un derecho de aprovechamiento concedido por autoridad competente y que no se podía adquirir por prescripción el dominio de las aguas ni el derecho a usarlas. Su artículo 10 consignaba una disposición que declara de utilidad pública todas las aguas y “expropiarse todas las aguas que, a la fecha de la vigencia de la Ley N° 16,640”.

La indemnización sólo procedía cuando, por la extinción total o parcial del derecho de aprovechamiento, fueren los titulares privados del agua suficiente para satisfacer mediante un uso racional y beneficioso, las mismas necesidades que satisfacían con anterioridad a la expropiación. Pero no obstante la expropiación, los hasta entonces dueños de esas aguas podrían seguir usando de ellas, en calidad de titulares de un derecho de aprovechamiento concedido por el sólo ministerio de la ley.

Este Código impide la cesión o enajenación del derecho de aprovechamiento.

En general, el derecho de aprovechamiento es un derecho real “administrativo” que recae sobre las aguas y por ende es precario versus lo que vendría después.

El Código de Aguas de 1951 contemplaba la prescripción de estos derechos en el Título XI, normas que fueron derogadas por la Ley N° 16,640.

CÓDIGO DE AGUAS DE 1981

El Decreto Ley N° 2603, publicado en el Diario Oficial el 23 de abril de 1979, modificó en su artículo 1°, el Acta Constitucional N° 3, reconociendo a los titulares de derechos de aprovechamiento la propiedad sobre estos, marcando un cambio radical pues instala la propiedad de los derechos de aprovechamiento en los particulares, lo convierte en un derecho real y permite separar la tierra del agua. La disposición decía “En los actos y contratos que importen la transferencia del dominio de un bien raíz o de un establecimiento para cuya explotación se requiera utilizar derechos de aguas, deberá señalarse expresamente si se incluyen o no tales derechos. Si así no se hiciere se presumirá que el acto o contrato no los comprende”.

Bastó esta circunstancia para que los derechos de aguas comenzaran a verse como objetos de especulación e inversión, podrían transarse en mercados e incluso desnacionalizarse. En su Artículo 73 se define el derecho de aprovechamiento como “un derecho real que recae sobre las aguas de dominio público y que consiste en el uso, goce y disposición de ellas, en beneficio particular, con los requisitos y en conformidad a las disposiciones de esta ley”.

El resto es historia conocida y se ha traducido en un sistema que ha concentrado el mercado del agua radicando la propiedad de los derechos en las empresas sanitarias, eléctricas y agrícolas de mayor tamaño, privando a sectores importantes del país del recurso que les permita mantener pequeñas chacras o incluso para su propia subsistencia.

Todo lo anterior llevó al Gobierno de don Patricio Aylwin Azócar en 1992 a proponer modificaciones al Código de Aguas, las cuales demoraron más de lo necesario y finalmente se promulga un nuevo Código de Aguas en el mes de abril de 1994.

Aspectos adicionales sobre el Código de Aguas de 1981 son discutidos por Axel Dourojeanni y Andrei Jouralev de la División de Recursos Naturales e Infraestructura publicado por CEPAL en su libro “Logros del Código de Aguas” de 1999, el cual otorga una visión favorable al Código de 1981 y critica de los intentos de modificación del Código de aguas posteriores.

EL CÓDIGO DE AGUAS DE 2022

El nuevo código de aguas promulgado en abril de 2022, establece una nueva institucionalidad que perfecciona el código de 1981, aunque sin modificar de manera radical los principios contenidos en ese cuerpo legal.

Según el Ministerio de OOPP la modificación del Código de Aguas tendrán los siguientes lineamientos fundamentales:

Respecto a los derechos de aprovechamientos de agua:

1. Se constituirán en función del interés público, para lo cual habrá que considerar el resguardo del consumo humano y el saneamiento, la preservación de los ecosistemas, la disponibilidad de las aguas, la sustentabilidad de los acuíferos y, en general, aquellas acciones destinadas a promover un equilibrio entre eficiencia y seguridad en los usos productivos.
2. Los “Derechos para uso en su fuente” o destinados a la conservación de los ecosistemas son una innovación. La Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) deberá establecer un caudal ecológico mínimo con el objetivo de velar por la conservación de la naturaleza y la protección del medio ambiente. El Presidente de la República tendrá la atribución de reservar el recurso con fines de preservación.
3. Se modifica el concepto de derechos de aprovechamiento de aguas. Tendrán un carácter temporal y serán otorgados a través de una concesión. Su duración será de 30 años, pero dependerá tanto de la disponibilidad de la fuente de abastecimiento como de la sustentabilidad del acuífero.
4. Los derechos podrán extinguirse por su no uso, total o parcialmente.

5. Los derechos caducarán si no se inscriben en el Conservador de Bienes Raíces y en el Catastro Público de Aguas (CPA) de la DGA-MOP. La regularización sólo podrá iniciarse dentro de los 5 años de publicada la ley. Se establecen nuevos procedimientos y plazos destinados a acelerar los procesos de regularización de derechos de aprovechamiento de aguas.
6. Se permite hacer uso de los derechos en lo que corresponda, pero si hay problemas de disponibilidad de la fuente se hará una de su ejercicio y la redistribución de aguas superficiales de forma proporcional por parte de la Junta de Vigilancia respectiva o de la DGA-MOP, incluso sin un decreto de escasez hídrica. II. Otras Modificaciones:

Planes Estratégicos de Gestión Hídrica

Se establece que todas las cuencas deberán contar con un Plan Estratégico de Gestión Hídrica, respondiendo a la necesidad de disponer de mejor información y una mirada de largo plazo para conocer la disponibilidad actual y proyectada del agua de las cuencas e implementar una cartera de acciones. Esta tarea ya comenzó a desarrollarla la DGA-MOP. Se mandata a la DGA la elaboración de Planes Estratégicos de Gestión Hídrica para cada una de las 101 cuencas del país en un plazo máximo de 10 años y su posterior actualización.

Potestad sancionatoria DGA

Además, fortalece la potestad sancionatoria de la DGA-MOP; incorpora disposiciones sobre aguas subterráneas y gestión sustentable; precisa normas sobre la recarga artificial de acuíferos, y mejoras en relación a los deberes de información de la autoridad y en la potestad para exigir información de los titulares de derechos de aprovechamiento.

Patentes por no Uso de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas

Refuerza el combate a la especulación mediante el incremento en el valor de la patente por no uso de los derechos de aprovechamiento de aguas y su extinción por no uso.

Como es evidente este código reformado no ha demostrado una verdadera eficacia ya que es muy temprano para ello, sin embargo, la Convención Constitucional de 2022 no veía con buenos ojos la institucionalidad anterior y por ende formuló nuevas normas y principios, que sembraron un manto de duda y de incertidumbre sobre la institucionalidad futura, la cual sin duda afectará la inversión.

EL DEBATE CONSTITUCIONAL DE 2022 Y LAS AGUAS

La Convención Constitucional que presentó una propuesta de borrador para una nueva constitución el 04 de julio de 2022, discutió varias modificaciones de fondo al marco regulatorio del agua. Uno de los artículos propuestos indicaba que “el Estado velará por un uso razonable de las aguas. Las autorizaciones de uso de agua serán otorgadas por la Agencia Nacional de Aguas, de carácter intransferible, concedidas basándose en la disponibilidad efectiva de las aguas, y obligarán al titular al uso que justifica su otorgamiento”. Este artículo fue aprobado por 15 votos a favor, 4 en contra y 0 abstenciones. En el borrador propuesto se declaraba al agua en todos sus estados como un bien reconocido por el derecho internacional. El borrador también incluía un artículo que señalaba que “el Estado asegurará un sistema de gobernanza de las aguas participativo y descentralizado, a través del manejo integrado de cuencas, y siendo la cuenca hidrográfica la unidad mínima de gestión”. Además, agregaba “Los Consejos de Cuenca serán los responsables de la administración de las aguas, sin perjuicio de la supervigilancia y demás atribuciones de la Agencia Nacional de las Aguas y otras instituciones competentes”.

“La ley regulará las atribuciones, funcionamiento y composición de los Consejos. Esta deberá considerar, a lo menos, la presencia de los titulares de autorizaciones de aguas, la sociedad civil y las entidades territoriales con presencia en la respectiva cuenca, velando que ningún actor pueda alcanzar el control por sí solo”, proseguía.

“Los Consejos podrán coordinarse y asociarse cuando sea pertinente. En aquellos casos en que no se constituya un Consejo, la administración será determinada por la Agencia Nacional de Agua”, cerraba el artículo.

Desde el punto de vista territorial, de aprobarse la norma propuesta, Chile reconocía que hay espacios del territorio con regímenes de uso del agua diferentes a la generalidad: La Constitución reconocía a los pueblos y naciones indígenas el uso tradicional de las aguas situadas en autonomías territoriales indígenas o territorios indígenas. Es deber del Estado garantizar su protección, integridad y abastecimiento, en conformidad a la Constitución y la ley.

En resumen, la institucionalidad que regula el uso de los recursos hídricos en Chile nuevamente estuvo en discusión durante el funcionamiento de la Convención Constitucional con una fuerte tendencia a tener nuevas normas, nuevos principios, y asimismo mucha incertidumbre ya que no es baladí la cuestión de si existen o no derechos reales de aprovechamiento de aguas, que sucedería con los ya otorgados, y el potencial impacto sobre los proyectos agrícolas, mineros y sanitarios.

Anexo C

Algunas limitaciones ambientales a los Derechos de Agua

Apuntes para el trabajo de la Universidad de Talca sobre “Desafíos relacionados a los recursos hídricos en Chile para el siglo XXI”

Introducción

Las regulaciones del medio ambiente y las aguas han tenido una evolución normativa diferente. El derecho de aguas más antiguo y con un desarrollo más lento y el derecho ambiental, más reciente y explosivo. Sus objetos de estudio, el medio ambiente, por un lado, y el derecho de aguas por otro, tienen permanentes puntos de encuentro. Sin embargo, pese a los continuos ajustes de ambas normativas todavía no alcanzan una verdadera integración y se producen contradicciones jurídicas entre ellas.

En la práctica se encuentran numerosos casos de actividades económicas (minería, energía, sanitarias o industrias de gran envergadura) que por tipología (art. 10 de la Ley de bases del Medio Ambiente) deben ser sometidas a un procedimiento de evaluación ambiental. Muchas de las Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) de los proyectos evaluados establecen requisitos al ejercicio de los derechos de aguas, o sea, sus titulares deberán utilizar menor caudal no porque el título jurídico (derecho de aguas) lo establezca sino porque después de haber sido sometido a la evaluación ambiental la autoridad ha restringido su uso en la respectiva RCA. Esta situación no pasa con las actividades que no deben ser sometidas a la evaluación ambiental como es el caso de agricultura. El problema se presenta en aquellas cuencas en donde conviven estas actividades tan disímiles al momento que se declara zona de escasez hídrica y es necesario realizar una reasignación del recurso hídrico. El mismo problema nace cuando se establecen ciertas áreas de protección oficial y el ejercicio de los derechos de aguas deben ser compatibles con esa declaración de protección. A través de estas líneas quisiera revisar estos dos ejemplos de regulación cruzada en donde la legislación ambiental restringe los derechos de aguas.

Reasignación de las aguas por parte de las organizaciones de usuarios en las zonas declaradas de escasez hídrica

Las comunidades de aguas subterráneas no se encuentran específicamente reguladas, pero se les aplican las normas generales en materia de comunidades de aguas del Código de Aguas (CA).

Dentro de esas normas, el artículo 211 CA señala que los estatutos de estas comunidades podrán establecer normas permanentes para la distribución de las aguas.

Por otra parte, de acuerdo con el artículo 314 del CA, el Presidente de la República, a petición y con informe de la Dirección General de Aguas (DGA) podrá declarar zonas de escasez hídrica ante una situación severa de sequía por un máximo de un año, prorrogable. En estos casos, la DGA podrá exigir un acuerdo de redistribución a las Juntas de Vigilancia (derechos de aguas superficiales y subterráneos). En caso de no presentarse un acuerdo o que éste no cumpla los requerimientos de la DGA, será esta última la que realizará la redistribución (y por lo mismo, la restricción respectiva).

En estos acuerdos deben prevalecer los usos para el consumo humano, saneamiento o el uso doméstico de subsistencia, precaviendo la comisión de faltas graves o abusos, lo cual se señala en el mismo artículo 314 y en el artículo 5 bis del CA. Las condiciones técnicas mínimas, obligaciones y limitaciones que se deben cumplir en estos acuerdos de redistribución se encuentran contenidos en la Resolución Exenta N°1104 de fecha 11 de mayo de 2022, de la DGA (“R.E. N°1104/2022”).

Por lo tanto, el acuerdo de redistribución puede ser realizado por las propias Comunidades de Aguas Subterráneas en virtud de sus estatutos, como también en virtud del requerimiento de la Junta de Vigilancia de la que es parte, a raíz de una eventual declaración de zona de escasez de la DGA.

No existe una regulación específica que nos oriente respecto de cuáles son las alternativas de auto restricción que puede adoptar una comunidad de aguas. Las normas, como ya se señaló, son sólo generales. Sin embargo, el prorrateo es la única forma de mantener una igualdad entre los comuneros, a pesar de que también podrían existir otras formas distintas a la prorrateo, cuando existan usos privilegiados, como, por ejemplo, consumo humano, saneamiento o el uso doméstico de subsistencia.

Por otra parte, las restricciones a prorrateo, pueden fundarse en un caudal instantáneo, mensual, anual, y con modalidades horarias o estacionales.

Por prorrateo nos referimos a “repartir una cantidad entre varias personas, según la parte que proporcionalmente toca a cada una”. Al respecto, es probable que el prorrateo se realice en función del caudal de recarga disponible, es decir, se recalcula la cuota de cada uno de los titulares en función de la disponibilidad actual. El prorrateo podría ser un porcentaje mayor en una estación del año determinada en que el caudal del acuífero aumente, y menor cuando disminuya. Esta alternativa es especialmente adecuada en valles en donde hay usos distintos por temporada (riego y minería). Asimismo, podría estimarse que las extracciones pueden efectuarse a una hora determinada del día.

No existe tampoco una regulación específica que nos oriente en cuáles son las alternativas de auto restricción que puede adoptar una Junta de Vigilancia. Las fórmulas de distribución también pueden ser variadas. Sin embargo, en general las Juntas de Vigilancia han sido reacias a incluir las aguas subterráneas en su organización y en consecuencia en sus acuerdos de redistribución. Por ejemplo, mediante Resolución Exenta DGA N°972 de 4 de noviembre de 2022 que ordena medidas de redistribución de aguas a la Junta de Vigilancia del Río Aconcagua, donde no se incluyen aguas subterráneas.

Sin embargo, potencialmente podrían ser incluidas y ser parte de los acuerdos de redistribución. En efecto, Contraloría General de la República ha considerado que son necesarias en la redistribución de las Juntas de Vigilancia, pero que aún no han podido ser incorporadas por falta de organización (Dictamen E273030N22 de 03 de noviembre de 2022).

Por lo tanto, en caso de participar en acuerdos de redistribución se deben considerar los contenidos mínimos de la R.E. N°1104/2022.

Conforme ésta última resolución, deberá existir una proyección mensual de prorrata de los DAA, en porcentaje, lo que deberá ser controlado a través de los sistemas de monitoreo de extracciones efectivas.

Para efectuar reducciones la R.E. N°1104/2022 establece algunas normas orientativas:

- No se podrán establecer medidas que agraven la situación de las funciones ecosistémicas, es decir, la distribución no puede ser más perjudicial que la situación actual;
- Se exige indicar el porcentaje mensual de prorrata, lo que da a entender que la restricción pudiera variar mes a mes.

La decisión de restricción de derechos de aguas sea hecha por la misma comunidad o por la Junta de Vigilancia no es omnipotente, y debe moverse dentro de ciertos límites.

Esos límites son, en general, los siguientes:

- Respeto a las escasas normas ya señaladas previamente;
- Respeto a principios básicos jurídicos, como son el que no puede ser arbitraria, entendiéndose por esto que debe ser fundada.
- Respeto a los derechos de aguas (artículo 193 del CA). Este es un criterio que ha sostenido la DGA de Coquimbo respecto de un acuerdo de redistribución de aguas de la Junta de Vigilancia del río Choapa, al señalar que “el acuerdo debía permitir una distribución justa y equitativa del agua a todos los usuarios de la cuenca, de no ajustarse en esa línea, la DGA ordenará cómo se debe realizar dicha distribución”.
- Respeto a los usos prioritarios, tales como el consumo humano, el uso doméstico de subsistencia y el saneamiento (artículo 5 bis del CA)
- Respeto a la unidad de cuenca establecido en dictamen de Contraloría General de la República E273030N22 de 03 de noviembre de 2022. En ese dictamen el Contralor se pronunció indicando que a pesar que el río este seccionado, la redistribución debe ser considerando la totalidad de las secciones.

Estos principios deben ser tenidos a la vista con el objeto de precaver comisión de faltas graves o abusos. (R.E. N°1104/2022). Dicho lo anterior, las formas de redistribuir aguas son variadas, sin embargo, la más probable de restricción que podría ser adoptadas por la misma comunidad o junta de vigilancia, serían la de prorratear, esto significa, disminuir proporcional y equitativamente la extracción que realicen los comuneros. Lo que puede variar es la base o supuesto para disminuir dicha extracción, la cual puede ser:

- En base al derecho de aprovechamiento de agua nominal.
- En base a la disponibilidad de recarga.

No obstante, hemos señalado que, en virtud de la sobre explotación de un acuífero, es probable que se realice el prorrateo sobre los volúmenes efectivamente disponibles. Especial relevancia tendrá si para el prorrateo se tendrá presente el caudal nominal (caudal del derecho de aguas) de una empresa sujeta a una RCA que le haya generado disminución en el ejercicio de los derechos de aguas o si dicho prorrateo le aplique la restricción establecida por dicha RCA.

Compatibilidad de usos del agua en áreas protegidas ambientalmente

La reciente Reforma al Código de Aguas (CA) modificó el artículo 129 bis 2 del mencionado Código, disponiendo restricciones en la constitución y en el ejercicio de derechos de aguas en áreas declaradas bajo protección oficial. El nuevo artículo 129 bis 2 del CA incisos 3° y 4° contempla dos supuestos, tanto el otorgamiento de nuevos derechos de aguas, como el ejercicio de derechos de aguas ya existentes. Código de Aguas, artículo 129 bis 2, incisos 3° y 4°: “Sin perjuicio de lo establecido en los artículos anteriores, no podrán otorgarse derechos de aprovechamiento en las áreas declaradas bajo protección oficial para la protección de la biodiversidad, como los parques nacionales, reserva nacional, reserva de regiones vírgenes, monumento natural,

santuario de la naturaleza, los humedales de importancia internacional y aquellas zonas contempladas en los artículos 58 y 63, a menos que se trate de actividades compatibles con los fines de conservación del área o sitios referidos, lo que deberá ser acreditado mediante informe del Ministerio del Medio Ambiente.

Los derechos de aprovechamiento ya existentes en las áreas indicadas en el inciso anterior sólo podrán ejercerse en la medida que ello sea compatible con la actividad y fines de conservación de éstas. La contravención a lo dispuesto en este inciso se sancionará de conformidad con lo establecido en el artículo 173” (énfasis agregado).

a) Nuevos derechos de aguas

Respecto a los nuevos derechos de aguas, dispone la norma que no puede otorgarse en determinadas áreas a menos que se trate de actividades compatibles con los fines de conservación del área o sitios referidos, lo que deberá ser acreditado mediante informe del Ministerio del Medio Ambiente.

b) Derechos de aguas ya existentes en áreas declaradas bajo protección oficial

Se reconoce que existen derechos de aprovechamiento de aguas en determinadas áreas protegidas y dispone que sólo podrán ejercerse si son compatibles con la actividad y fines de conservación.

Una interpretación de compatibilidad pudiera ser considerar que en áreas bajo protección oficial no pudieran realizarse actividades del tipo productivas, y en consecuencia cualquier otra actividad distinta a la conservación sería incompatible con dicha actividad. Sin embargo, es posible sostener plausiblemente que el sentido de la norma es compatibilizar los usos en base a las siguientes consideraciones:

- Si el CA hubiera querido excluir actividades productivas en áreas bajo protección oficial, así lo habría indicado.
- El CA dispone la armonía de usos

El artículo 129 bis del CA dispone que para que se concedan nuevos derechos de aguas, se requerirá informe favorable del Ministerio de Medio Ambiente. Conforme al artículo tercero transitorio de la ley, cuando se cree el Servicio Nacional de Biodiversidad será el encargado de informar. Sin embargo, no establece un procedimiento particular para la demostración de compatibilidad de los derechos de aguas ya concedidos.

En efecto, si bien no está definido el concepto de compatibilidad, pareciera referirse a una armonía de usos, los que debieran ser compatibles con un uso sustentable del recurso. Al respecto, el CA dispone que una extracción de aguas subterráneas no sea sustentable si se genera un descenso sostenido o abrupto de los niveles freáticos (Artículo 62 del Código de Aguas).

Desde la óptica del Derecho Ambiental, se ha entendido por la doctrina y jurisprudencia mayoritarias (Osvaldo Urrutia, “*Jurisprudencia nacional, nuevos Tribunales Ambientales y derecho internacional del medio ambiente*”, en *Revista de Derecho de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso XL*. Valparaíso, Chile, 2013, 1er Semestre, pp. 475-507. Sentencia de Corte Suprema, caratulada CONAF contra Director Regional de Aguas, Región de Los Lagos. Causa rol: N° 7427/2010 (Casación). Resolución N° 7427-2010 de Corte Suprema, Sala Segunda-Penal de 27 de junio de 2012; Sentencia de Corte Suprema, caratulada: José Cisternas Lara con Comisión Regional del Medio Ambiente-Corema, rol: 6397-2008) que es posible realizar actividades productivas al interior de áreas colocadas bajo protección oficial, en la medida que éstas sean compatibles con la realización de los fines ambientales en virtud de los cuales dichas áreas han sido colocadas bajo protección, de acuerdo a los diversos cuerpos normativos que las regulan, a los actos administrativos que las crean y a sus respectivos planes de manejo. Véase, por ejemplo: Corte Suprema, causas Rol N° 6397-2008, Contraloría General de la República, Dictamen N° 8378/2016; Mensaje N° 161-32 del Boletín N° 9404-12 que Crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas: “El Sistema Nacional de Áreas Protegidas que se propone, se construye sobre la base de tres objetivos generales y para cada categoría de protección, objetivos específicos a los que debe ceñirse todo proyecto o actividad que, conforme a la legislación respectiva, se pretenda desarrollar dentro de los límites de un área protegida, como también, debe ser compatible con su respectivo plan de manejo”.

Ello se reafirma además por la existencia de los artículos 10 p) y 11 letra d) de la Ley N° 19,300 los que, respectivamente, ordenan evaluar ambientalmente la ejecución de proyectos y/o actividades al interior de áreas declaradas bajo protección, o bien, a hacerlo mediante un Estudio de Impacto Ambiental cuando éstos se ubican en o próximos a áreas declaradas bajo protección. Todo ello, cuando la legislación aplicable lo permita.

En general, se ha entendido por compatibilidad con los objetos de protección el no afectarles ambientalmente por medio de efectos adversos respecto de los mismos.

Conclusiones

Se han visto someramente dos casos en que el ejercicio de los derechos de aguas no puede ser visto solamente desde la perspectiva sectorial (Código de Aguas y regulación complementaria) sino que, además, debe estudiarse desde la perspectiva ambiental, la que incluso puede generar restricciones que imposibilite en términos prácticos el ejercicio de dichos derechos de aguas.

Esta problemática no solo se traduce en normativa sustantiva, sino que también desde la visión orgánica ya que participan diversos organismos (DGA, MMA, SEA, entre otros) en que muchas veces tienen objetivos distintos porque su objeto de regulación y fiscalización son distintos: el correcto uso de las aguas en algunos casos y la protección del medio ambiente en otros.

Si a esto le sumamos las organizaciones de usuarios como unidades de redistribución y los próximos Consejos de Cuencas que se están organizando en forma piloto, podemos concluir que la importancia del agua deberá ser acompañada por una igual de importante y correcta regulación.

Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figuran no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO, y no comprometen a la Organización.

The designations and material presented in this publication are not an expression of UNESCO's opinion on the legal status of any country, territory, city, or area, or on the delimitation of its frontiers or boundaries. The ideas and opinions expressed in this publication are those of the authors and do not necessarily represent the views of UNESCO. The Organization is not responsible for the opinions expressed by the authors.

Dans le cadre de cette publication, l'UNESCO a recours à des appellations et à une présentation des données qui n'impliquent aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant à leurs frontières ou limites. Les points de vue et les idées exprimés dans cette publication sont ceux des auteurs et ne reflètent pas nécessairement le point de vue de l'UNESCO, qui n'est pas engagée par ceux-ci.



Attribution-NonCommercial-ShareAlike
International
CC BY-NC-SA 4.0 license

4.0