

Análisis de los efectos ecosistémicos del uso de agua de mar y la desalinización para el abastecimiento hídrico de la minería

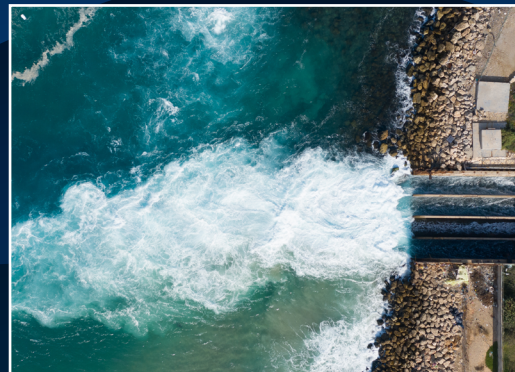
El caso de Chile

Luisa Saavedra Löwenberger

Katty Donoso Ferez

Valentina Cisterna Roa

José Luis Lewinsohn Castro



NACIONES UNIDAS

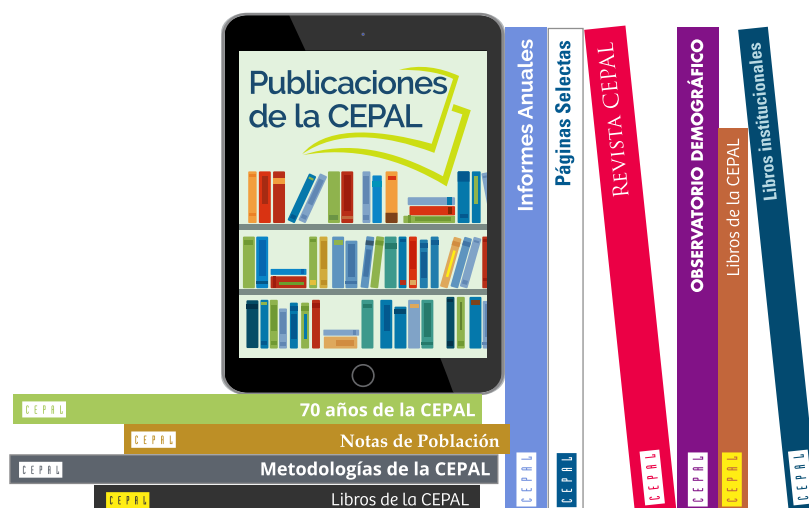
CEPAL



Trabajando por
un futuro productivo,
inclusivo y sostenible



Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.

Deseo registrarme



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/publications



www.instagram.com/publicacionesdelacepal



www.facebook.com/publicacionesdelacepal



www.issuu.com/publicacionescepal/stacks



www.cepal.org/es/publicaciones/apps

Análisis de los efectos ecosistémicos del uso de agua de mar y la desalinización para el abastecimiento hídrico de la minería

El caso de Chile

Luisa Saavedra Löwenberger
Katty Donoso Ferez
Valentina Cisterna Roa
José Luis Lewinsohn Castro



NACIONES UNIDAS

CEPAL



Este documento fue preparado por Luisa Saavedra Löwenberger, Consultora de la División de Recursos Naturales de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Katty Donoso Ferez y Valentina Cisterna Roa y José Luis Lewinsohn Castro, este último de la División de Recursos Naturales de la CEPAL, en el marco de las actividades de la División y del programa Cooperación Regional para una Gestión Sustentable de los Recursos Mineros en los Países Andinos (MINSUS), ejecutado por la CEPAL en conjunto con el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales (BGR) de Alemania y financiado por el Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de ese país. Los autores agradecen los valiosos comentarios al trabajo de Achim Constantin, del BGR, y de Marcia Tambutti, Matías Barceló, Mauricio León y Rodrigo Furtado, de la CEPAL.

Las Naciones Unidas y los países que representan no son responsables por el contenido de vínculos, enlaces o marcadores a sitios externos incluidos en esta publicación, ni por las menciones de sociedades mercantiles o nombres comerciales de productos y servicios, y no deberá entenderse que existe adhesión a sitios, su contenido, sus responsables ni a los productos o servicios que se mencionen u ofrezcan.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización o las de los países que representa.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de esta publicación no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2023/97
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2023
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.23-00547

Esta publicación debe citarse como: L. Saavedra Löwenberger y otros, "Análisis de los efectos ecosistémicos del uso de agua de mar y la desalinización para el abastecimiento hídrico de la minería: el caso de Chile", *Documentos de Proyectos* (LC/TS.2023/97), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2023.

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Documentos y Publicaciones, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Resumen	7
Introducción	9
I. Descripción del proceso de desalinización y cómo se usa en la minería	13
A. Tipos de tecnología	14
B. Uso de desalinizadoras en la actividad minera de Chile	18
II. Descripción de la zona costera en que se instalan las plantas desalinizadoras	23
III. Efectos potenciales de las plantas desalinizadoras en los ecosistemas	27
A. Efecto asociado al gasto energético de la desalinización.....	28
B. Efecto asociado a la emisión de gases de efecto invernadero.....	29
C. Efectos potenciales sobre el ecosistema marino	29
1. Efectos de la captación de agua de mar	29
2. Efectos de la descarga de salmuera	33
3. Efectos sobre el paisaje costero y otras actividades humanas	41
IV. Medidas de mitigación de los impactos ambientales de las plantas desalinizadoras	45
A. Mitigación del consumo energético y huella de carbono	46
B. Toma de agua de mar	48
C. Descarga de salmuera	49
1. Maximizar la dilución inicial de la descarga	49
2. Optimizar la mezcla de la descarga.....	50
3. Seleccionar una correcta ubicación de la descarga.....	50
4. Realizar programas de vigilancia ambiental adecuados	51
5. Conocimiento de la tolerancia a la salinidad de las especies próximas a la descarga.....	52
D. Otras medidas de mitigación	52
V. Normativas asociadas a las plantas desalinizadoras	53
A. Normativa ambiental vigente	54

B.	Propuesta de normativa	58
C.	Percepciones y opiniones de tomadores de decisiones sobre las Desalinizadoras en Chile	59
VI.	Análisis, discusión y sugerencias	63
	Bibliografía	69
	Anexos.....	77
Anexo 1	78
Anexo 2	86
Cuadros		
Cuadro 1	Concentración de sólidos disueltos totales en los diferentes tipos de agua.....	15
Cuadro 2	Tipos de procesos de desalinización de acuerdo con la energía utilizada	16
Cuadro 3	Comparación entre las tecnologías de desalinización de membrana y térmicas	21
Cuadro 4	Propiedades típicas de efluentes de osmosis inversa.....	33
Cuadro 5	Ejemplos de tolerancia a rangos de salinidad elevados, para diferentes grupos de organismos marinos.....	38
Cuadro 6	Potenciales tecnologías de reducción de arrastre y atrapamiento (A y A) en tomas de agua abierta.....	48
Cuadro 7	Pasos por seguir para la instalación y funcionamiento de los proyectos de desalinizadoras, con el resumen de las principales normativas que se aplican en cada paso	54
Cuadro 8	Instituciones relacionadas con la administración, permisos, fiscalización y funcionamiento de las plantas desalinizadoras en Chile.....	55
Cuadro 9	Normas internacionales de referencia para evaluar los efectos de las descargas de desalinizadoras	57
Cuadro 10	Ventajas y desventajas de las desalinizadoras desde una perspectiva multiactor	61
Cuadro A1	Resumen de las normativas asociadas a la regulación de plantas desalinizadoras en Chile, 2022	78
Cuadro A2	Clasificación y perfil de actores miembros del comité de expertos que conforman la muestra de investigación	89
Cuadro A3	Malla temática y sistematización de información por categorías.....	94
Cuadro A4	Ventajas y desventajas desalinizadoras.....	99
Gráficos		
Gráfico 1	Consumo de agua global en el último siglo	10
Gráfico 2	Distribución de los usos consuntivos del agua a nivel nacional	19
Gráfico 3	Porcentaje de la capacidad de producción de agua desalinizada total para cada rubro.....	19
Gráfico 4	Relación entre volumen de salmuera producido por empresa y el área de influencia del proyecto	36
Gráfico 5	Comparación entre el caudal máximo de salmuera producido por una planta desalinizadora operando actualmente y el caudal promedio de los principales ríos del norte y centro de Chile: escala logarítmica	37
Gráfico 6	Distribución de tecnologías que combinan desalinización con energías renovables en el mundo, 2017	47

Recuadros

Recuadro 1	Diferencias entre TDS y Salinidad	15
Recuadro 2	¿Qué es la zona costera?	24
Recuadro 3	Ejemplo de zona costera donde confluye la importancia ecológica y las actividades humanas.....	42
Recuadro 4	Ejemplo de buenas prácticas: planta desalinizadora de Perth, Australia	45

Diagramas

Diagrama 1	Esquema de la desalinización.....	14
Diagrama 2	Esquema general de una desalinizadora operando con tecnología de osmosis reversa	17
Diagrama 3	Esquema que muestra los principales efectos de las plantas desalinizadoras sobre el ambiente, para cada uno de los pasos del proceso	27
Diagrama 4	Cantidad de energía típicamente requerida por unidad de agua producida, para diferentes cualidades de agua de entrada	28
Diagrama 5	Esquema de captaciones de tipo abiertas	30
Diagrama 6	Esquematación de la adaptación de los organismos acuáticos a diferentes niveles de salinidad en los ambientes costeros	37
Diagrama 7	Esquema del sistema de difusores del emisario submarino	50
Diagrama 8	Área geográfica que abarca una planta desalinizadora multipropósito en las distintas etapas del proceso de obtención de agua.....	53
Diagrama 9	Línea de tiempo del proyecto de ley “Sobre el Uso del Agua de Mar para la Desalinización”	58
Diagrama 10	Modelo de flujo para representar la relación entre la industria minera, plantas desalinizadoras, fuentes de generación eléctrica “renovable” y plantas de hidrógeno verde, para demostrar la relevancia del océano para el funcionamiento de este ciclo productivo	66
Diagrama A1	Esquema de triangulación de datos	91

Mapas

Mapa 1	Mapa de Sudamérica con índice de sequía de Palmer del año 2000, 2010 y 2019.....	11
Mapa 2	Distribución mundial de grandes plantas desaladoras por capacidad (<i>capacity</i>), tipo de agua de alimentación (<i>feedwater</i>) y tecnología de desalinización (<i>technology</i>).....	13
Mapa 3	Mapa del norte de Chile con la ubicación de las plantas desalinizadoras operativas.....	20
Mapa 4	Características del Sistema de Corrientes de Humboldt	25
Mapa 5	Ubicación de plantas desalinizadoras operativas en el norte de Chile, con el volumen de salmuera producida (máximo informado en el SEIA)	35

Imagen

Imagen 1	Atrapamiento de organismos marinos	32
----------	--	----

Lista de abreviaturas

AI:	Área de influencia
AMCP-MU:	Áreas Marinas Costeras protegidas de múltiples usos
AMERB:	Área de manejo y extracción de recursos bentónicos
CO²:	Dióxido de carbono
DGA:	Dirección General de Aguas
DIA:	Declaración de impacto ambiental
EBSA:	Áreas ecológica o biológicamente significativas
EIA:	Estudio de Impacto Ambiental
GCWDA:	Alianza Global de Desalinización de Agua Limpia
GIC:	Gestión integrada de la zona costera
HV:	Hidrógeno verde
IDA:	Asociación internacional de desalinización
LAC:	América Latina y el Caribe
MED:	Destilación Multiefecto
MSF:	Destilación Instantánea Multietapa
MVC:	Compresión mecánica de vapor
ODS:	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PAE:	Pérdida de adultos equivalentes
PMA:	Programa de Monitoreo Ambiental
RCA:	Resolución de calificación ambiental
RO:	Osmosis reversa
SEIA:	Servicio de Evaluación Ambiental
SHOA:	Servicio hidrográfico y oceanográfico de la Armada
SIAM:	Sistema de impulsión de agua de mar
SONAMI:	Sociedad Nacional de Minería de Chile
TDS:	Sólidos totales disueltos

Resumen

Frente al contexto de sequía y escasez hídrica que afectan actualmente a una gran parte del mundo, así como el cambio climático que amenaza con profundizar esta crisis, surge como una alternativa, el uso de agua de mar mediante la tecnología de desalinización. Si bien esta solución se propone principalmente como fuente de agua para consumo humano, en Chile también son utilizadas para abastecer de agua a la industria minera, especialmente en aquellas regiones en que las operaciones mineras se encuentran en zonas de escasez hídrica. Este es el caso de algunos países de América Latina y el Caribe (LAC) que poseen importantes reservas de minerales necesarios para la transición energética, lo que conlleva a un aumento en la demanda de estos recursos y una mayor necesidad de agua.

Si bien la desalinización se presenta como una ventaja para afrontar la crisis hídrica, aún existe incertidumbre frente a sus potenciales efectos sobre los ecosistemas y la sociedad, lo que podría generar conflictos socioambientales, si no se planifica adecuadamente su disposición. El presente estudio trata de abarcar esta incertidumbre, planteándose como objetivo entregar una revisión general del funcionamiento y aplicación de las desalinizadoras, analizando sus, ventajas y desventajas, con un especial enfoque en los efectos sobre los ecosistemas y el paisaje costero. Diversos países de LAC cuentan con este tipo de plantas, sin embargo, el caso de estudio de la situación en Chile es relevante porque en este país se ha producido un crecimiento continuo de plantas desalinizadoras en los últimos años, actualmente tiene 23 operativas y 14 planificadas para operar antes del año 2025, con lo que se espera aumentar en 165% el uso de agua de mar en la industria minera, para el año 2032.

A partir de la revisión de fuentes primarias y secundarias de información, se plantean diversos desafíos que enfrenta la desalinización como solución hídrica, relacionados principalmente con la falta de evidencias científicas sobre los efectos en los ecosistemas costeros del océano Pacífico, así como con las debilidades en las regulaciones y normativas que aseguren la sostenibilidad ambiental de esta actividad. En el último acápite, se analizan los resultados y se entregan sugerencias orientadas a instituciones públicas, empresarios y a la comunidad en general, sobre la toma de decisiones para la instalación de plantas desalinizadoras en las costas de Chile, lo que también se puede aplicar a otros países de LAC, pero considerando siempre los contextos locales. Un mensaje clave que surge a partir de este estudio, es que frente a la inexistencia de regulaciones específicas que aseguren el menor impacto socioecológico y la conservación de ecosistemas costeros únicos en el mundo, es necesario tomar estas decisiones con cautela y basadas en el enfoque precautorio. Se constata, además, que la planificación y gestión de la ubicación de las plantas debe incluir la opinión de las comunidades locales, que son quienes conviven y padecen los impactos directos de estas industrias, así como estudios científicos que sustenten estas decisiones.

Introducción

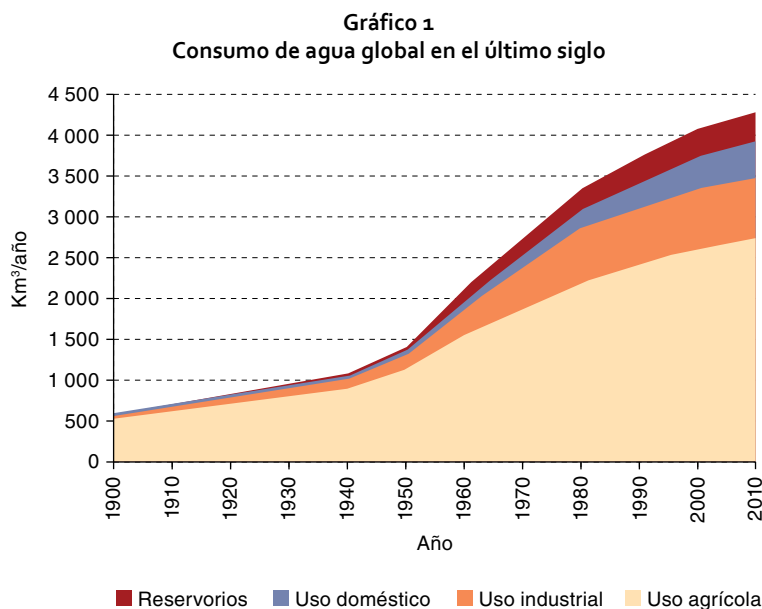
El agua es un recurso crítico para la vida en la tierra, representando más del 60% de la masa de los seres vivos y siendo fundamental para todas las reacciones químicas que ocurren en las células. Para los humanos cumple una función de bienestar, tanto para la sobrevivencia misma, como por su rol en disminuir la transferencia de enfermedades en los asentamientos humanos. Por otra parte, este recurso es hábitat para la biota acuática, y cumple una función de productividad, tanto en términos de biomasa (alimento, forraje, fibras, leñas y maderas) y producción socio económica (industrial, energética). A pesar de esta importancia para la vida, actualmente 4.000 millones de personas (66% de la población mundial) experimentan severa escasez de agua durante al menos un mes al año, con diferencias entre distintas regiones del mundo (Mekonnen y Hoekstra, 2016), por lo que a nivel mundial se están realizando enormes esfuerzos para hacer disponibles nuevos recursos hídricos y minimizar la deficiencia de agua en estas zonas del mundo. Es así como se definió el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 que busca “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” y el cumplimiento de este objetivo contribuye a su vez al progreso de otros ODS, relacionados con la salud, educación, crecimiento económico y medio ambiente¹.

La escasez de agua para el consumo humano se relaciona, por una parte, a que solo un 0,5% del agua que cubre la tierra, se encuentra disponible como agua fresca (dulce) en ríos, lagos y acuíferos (Darre y Toor, 2018), y, por otra parte, al constante aumento en la demanda de este recurso vital producto del crecimiento exponencial de la población mundial, el mejoramiento de los estándares de vida, el cambio en los patrones de consumo y la expansión de la agricultura (Mekonnen y Hoekstra 2016). La escasez de agua es a su vez potenciada por el cambio climático, provocado por las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (IPCC, 2021).

A nivel global, el agua fresca disponible es utilizada principalmente por la agricultura (72%) seguida por la actividad industrial (12%) y el consumo doméstico (16%), con variaciones entre las regiones del mundo (FAO y UN Water, 2021). Este consumo ha incrementado en aproximadamente seis veces desde el año 1900 y continúa creciendo de manera constante a una tasa de alrededor del 1 % anual (UNESCO, UN-Water, 2020), especialmente a partir del año 1950 y con una aparente disminución desde el año 2000 (Ritchie y Roser, 2017) (gráfico 1). Sin embargo, las proyecciones estiman que la demanda de agua continuará aumentando y se encontrará con cada vez menor disponibilidad, producto de los efectos del cambio global², lo que aumenta la vulnerabilidad de las poblaciones y actividades humanas (IPCC, 2022).

¹ Enlace: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>.

² Cambio global es el conjunto de cambios y transformaciones a gran escala producto de las actividades antropogénicas, por lo que el cambio climático se enmarca en estos cambios globales.



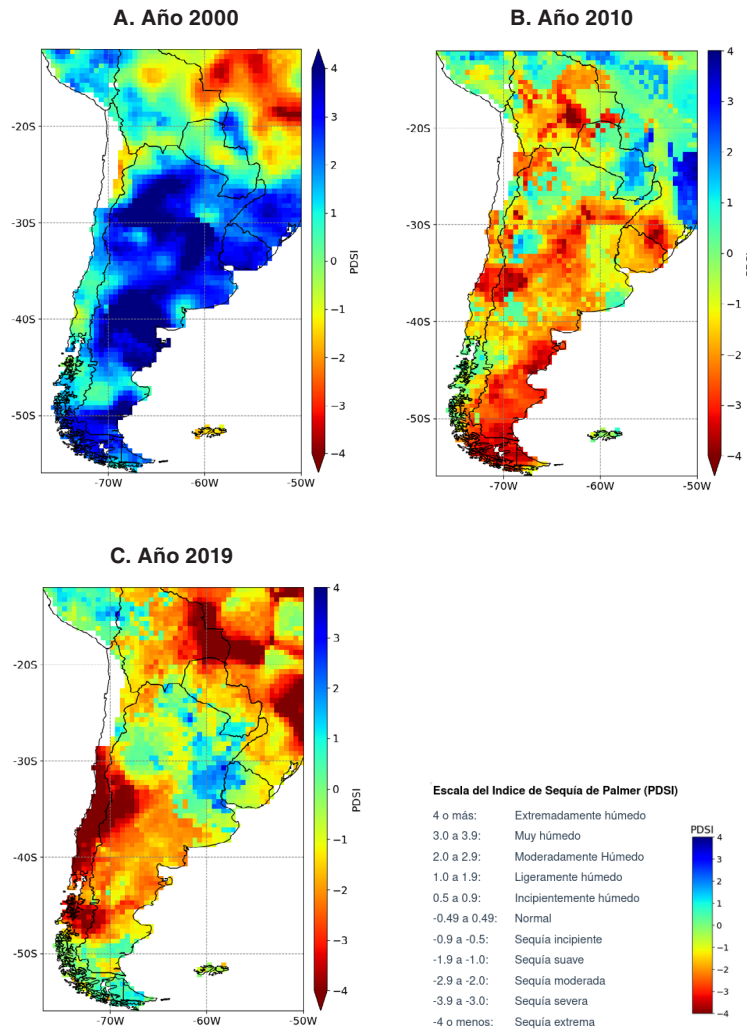
Fuente: UNESCO, UN-Water, 2020.

Producto del cambio global, se ha evidenciado un aumento de $1,1^{\circ}\text{C}$ en la temperatura promedio desde el periodo preindustrial, así como cambios en las precipitaciones, derretimiento de glaciares, aumento de eventos extremos, aumento de nivel del mar y otros efectos que repercuten en la disponibilidad y acceso al agua para el ser humano (WMO, 2021). Estas consecuencias también se han evidenciado en la región de América Latina y el Caribe, con un aumento de $0,2^{\circ}\text{C}$ por década entre 1991 y 2021, comparada con $0,1^{\circ}\text{C}$ entre 1961 y 1990 (WMO, 2021), así como una pérdida del 30% del área cubierta por glaciares en los Andes tropicales desde 1980 y el aumento de eventos extremos como huracanes y lluvias intensas que generan inundaciones. Otro problema son las sequías que afectan a muchos países de la región, destacando entre ellos Chile que atraviesa actualmente por una “megasequía” que ha durado 13 años (mapa 1) y que es una de las más largas en mil años (WMO, 2021). Es por ello que Chile es considerado uno de los países más afectados por la crisis hídrica y de acuerdo con el mapa de riesgos de estrés hídrico Acueduct³, la región norte y centro de este país posee un riesgo de estrés hídrico extremadamente alto producto de la escasez de agua y el alto consumo de este recurso por las actividades agrícolas, mineras y urbanas.

Considerando que es precisamente en la zona norte y centro de Chile, donde se concentran las principales actividades mineras y agrícolas, así como importantes centros urbanos, se evidencia la complejidad para el abastecimiento de agua ante los escenarios del cambio climático. Esto ha impulsado algunas medidas que buscan apoyar actividades productivas como la agricultura y la minería, mediante la construcción de embalses, subsidios agrícolas y otras medidas frente a eventos extremos (Garreaud y otros, 2015), así como el desarrollo de tecnologías que permitan el abastecimiento de agua, pero que a su vez tengan el menor impacto sobre el medio ambiente y puedan ser sostenibles en el tiempo. Una de las opciones tecnológicas disponibles es la Desalinización de agua de mar o salobre, que es utilizada a nivel mundial para el abastecimiento de agua potable e industrial y que se está visibilizando como una estrategia para asegurar el acceso al agua de alta calidad para todos hacia el 2030 (ODS 6) (Jones y otros, 2019). En el mundo existen actualmente 20.971 proyectos de desalinizadoras y 16.876 plantas instaladas (año 2020), con una capacidad de producir 97.2 millones de m^3 de agua fresca al día (Eke y otros, 2020), ubicadas principalmente en Medio Oriente y el Norte de África (4,8%), pero que han aumentado en todo el mundo con una tasa promedio de aproximadamente 6.8% al año desde 2010 (Jones y otros, 2019). De todas las plantas instaladas, el 62,3% del agua desalada se produce para consumo humano (sector municipal), frente al 30,2% para aplicaciones industriales (Jones y otros, 2019).

³ Sobre la base del World Resources Institute, en línea <https://www.wri.org/applications/aqueduct/water-risk-atlas>.

Mapa 1
Mapa de Sudamérica con índice de sequía de Palmer del año 2000, 2010 y 2019



Fuente: Obtenido del Explorador del Atlas de Sequías de Sudamérica (Ferrada y otros 2021, <https://sada.cr2.cl>).

A pesar de los beneficios de las plantas desalinizadoras para aportar agua, existen aún diversas preocupaciones en torno a los efectos ambientales del proceso y el alto costo energético del mismo. Esto se refleja en recientes declaraciones de la Alianza mundial de desalinización para Agua limpia, que señalan que la producción de agua dulce a través de la desalinización del agua es esencial para las zonas áridas y con escasez de agua, sin embargo, el costo de la energía y el uso de combustibles fósiles que actualmente alimentan a estas plantas, provocan emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes peligrosos (GCWDA, 2019). Por otra parte, uno de los principales problemas de estas plantas es la producción de salmuera, que posee una alta concentración de sales y otros compuestos y que son normalmente eliminados a la zona costera, pudiendo modificar las condiciones naturales de salinidad y afectar al ecosistema marino/costero. En este sentido, existen variados estudios que demuestran el potencial de toxicidad aguda y crónica, así como alteraciones de pequeña escala en la estructura de la comunidad biótica, luego de exposiciones a condiciones ambientalmente realistas de salmuera (Roberts y otros 2010), sin embargo, estos efectos (o la ausencia de los mismos) dependerán del tipo de organismo, el sitio, la comunidad biótica del sitio, la naturaleza de la salmuera y el grado de dispersión, así como del tipo de tecnología utilizada y los métodos de descarga del efluente (Jenkins y otros, 2012). Cabe destacar

que la mayor parte de estos estudios han sido realizados en zonas costeras del mediterráneo que poseen características muy distintas a las del borde occidental de Sudamérica, por lo que actualmente existe incertidumbre por la falta de estudios sobre los potenciales impactos que podrían generar estas plantas en Chile y otros países de la región.

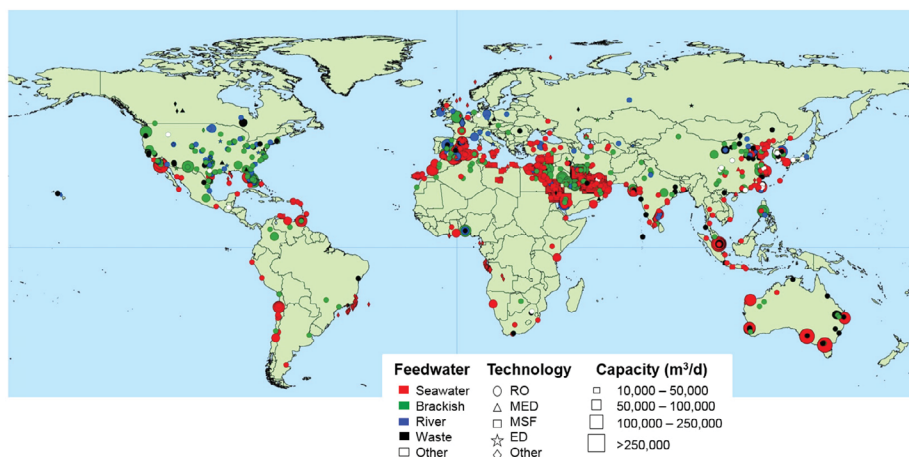
Por otra parte, uno de los factores claves para incentivar este tipo de plantas en Chile, es contar con espacios en la zona costera que sean lo suficientemente apropiados para cumplir con los estándares ambientales y de sustentabilidad, sin embargo, un reciente estudio demostró que de un total de 114,45 km² de costa analizados, solo el 4,54% del territorio era altamente apropiado para la instalación de estas plantas, siguiendo criterios internacionales (García-Bartolomei y otros, 2022). Estos antecedentes son relevantes para determinar las zonas prioritarias que puedan albergar la instalación de este tipo de plantas, siguiendo un enfoque basado en la sustentabilidad de los ecosistemas y que podrían evitar conflictos socioambientales.

Considerando el incremento mundial y nacional en la generación de agua a partir de la desalinización, así como el aumento de la demanda desde el sector minero y energético de Chile y Latinoamérica, se hace necesario contar con información sobre las ventajas y desventajas de este tipo de tecnologías, para lograr un uso sostenible y que considere medidas adecuadas para la protección de la zona costera y de la sociedad que convive en estos territorios. Para la contribución a la toma de decisiones políticas, económicas, legales y ambientales basadas en el conocimiento científico, el presente estudio propone realizar una revisión y sistematización de los antecedentes relacionados con las desalinizadoras en general y su implementación en la actividad minera en Chile, con el objeto de evaluar las ventajas y desventajas de este tipo de tecnologías, así como los temas que aún faltan abordar para lograr una actividad más sostenible de la minería.

I. Descripción del proceso de desalinización y cómo se usa en la minería

La desalinización es el proceso de extracción de sales desde el agua, transformándola en agua que cumpla con los requerimientos para el consumo humano (Darre y Toor, 2018), o bien, para usos productivos como la agricultura, minería o industria. Es utilizada por más de 150 países para suplir la demanda de agua fresca de alrededor de 300 millones de personas, siendo los principales países que utilizan esta tecnología, Arabia Saudita, los Emiratos Árabes, EE. UU., España y China (Saavedra y otros, 2021) (véase mapa 2). Los tratamientos de desalinización se utilizan para la remoción de sales contenidas en agua de mar, aguas salobres o aguas deterioradas que no pueden ser utilizadas directamente para consumo humano o industrial, mediante diversas tecnologías que se han adaptado y mejorado en los últimos 50 años para suplir el incremento global de capacidad de desalinización (Abushaban, 2020). Sin embargo, el 70,5% de la producción de agua desalinizada proviene desde el agua de mar (Jones y otros, 2019).

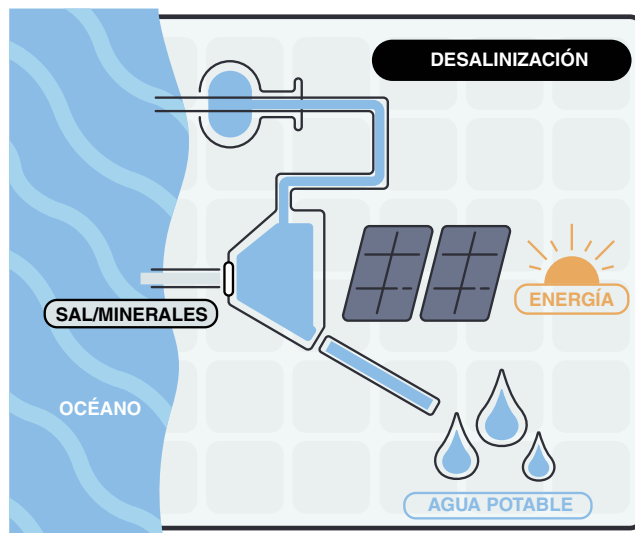
Mapa 2
Distribución mundial de grandes plantas desaladoras por capacidad (*capacity*), tipo de agua de alimentación (*feedwater*) y tecnología de desalinización (*technology*)



Fuente: Extraído de Jones y otros, 2019. The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of The Total Environment*, 657, 1343–1356.

La desalinización es un proceso de múltiples etapas que separa el agua de mar en dos productos: el cauce de productos (agua dulce) y el cauce de subproductos (salmuera altamente concentrada). El agua producto del proceso de desalinización es generalmente agua con menos de 500 mg L^{-1} de sólidos disueltos, que es adecuada para la mayoría de los usos domésticos, industriales y agrícolas. La salmuera es una solución salina concentrada (con más de 35.000 mg L^{-1} de sólidos disueltos) que debe eliminarse, generalmente mediante vertido en acuíferos salinos profundos o aguas superficiales con mayor contenido en sales.

Diagrama 1
Esquema de la desalinización



Fuente: Elaboración propia.

En Chile, la Comisión Nacional de Riego (CNR, 2011) define la desalinización como “el proceso por el cual el agua de mar, que contiene 35.000 mg L^{-1} de sales, y las aguas salobres, que contienen de 5.000 a 10.000 mg L^{-1} , se convierten en agua apta para el consumo productivo, humano e industrial”. Es decir, la desalinización se entiende como un proceso que baja las sales disueltas de 35.000 mg L^{-1} (agua de mar) a menos de 500 mg L^{-1} (agua potable o de consumo humano) (Vivanco Font, 2017).

A. Tipos de tecnología

Antes de abarcar los tipos de tecnología, se describen algunos términos comunes en todos los procesos de desalinización (Birket, 2011):

- i) Concentración de sales en el agua: se expresa usualmente como partes por millón (ppm) o sólidos totales disueltos (TDS). Los TDS combinan la suma de todas las partículas de iones que son más pequeñas que 2 micrones (0.0002 cm), esto incluye todos los electrolitos disociados que componen las concentraciones de salinidad, así como otros compuestos tales como materia orgánica disuelta⁴. En agua “limpia” el TDS es aproximadamente igual a la salinidad. La unidad de TDS es usualmente mg/L (ppm) y puede ser medida por gravimetría o calculada multiplicando la conductividad con un valor empírico.

⁴ En línea: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/>.

Cuadro 1
Concentración de sólidos disueltos totales en los diferentes tipos de agua

Tipo de agua	TDS (mg/L)
Ultrapura	0
Pura	0
Desionizada	0
Potable	0
Salobre	1 000-10 000
Salina	10 000-30 000
Marina	30 000-50 000

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Dévora-Isiordia y otros, 2013.

- ii) **Recuperación:** porción del agua de entrada a la planta de desalinización que es convertida a producto (agua fresca). Como ejemplo, una planta que produce 100 unidades de agua fresca por cada 300 unidades de agua de mar que entra al sistema, posee un 33% de recuperación. Una mayor recuperación disminuye los requerimientos de agua de entrada y por lo tanto menores costos de bombeo y pre-tratamiento.
- iii) **Factor de concentración de salmuera:** es el cociente entre el agua de mar ingresada y el subproducto (salmuera altamente concentrada). Si se toma el caso descrito anteriormente, la planta produce 200 unidades de una corriente de agua más concentrada (subproducto). Esto significa que casi todas las sales contenidas en 300 unidades del agua de ingreso deben ser contenidas en 200 unidades de salmuera. Por lo tanto, la concentración de la salmuera es $300/200 = 1,5$ veces la concentración del agua de entrada. Una mayor tasa de recuperación implica un mayor factor de concentración.
- iv) **Rejection "Rechazo":** es el porcentaje del total de sólidos disueltos extraídos para lograr el producto deseado. Siguiendo con el ejemplo anterior, si la misma planta incorpora agua de mar de 35.000 ppm y produce agua fresca de solo 350 ppm, posee un "rechazo" de $(35.000-350)/35.000 = 0,99$ o 99%. Esto significa que el 99% del TDS del agua de ingreso debe ser rechazada y permanece en la salmuera (subproducto).

Recuadro 1
Diferencias entre TDS y Salinidad

La salinidad es la concentración total de todas las sales disueltas en el agua. Estos electrolitos forman partículas iónicas a medida que se disuelven, cada una con carga positiva y negativa, por lo que cambian la conductividad. Si bien la salinidad se puede medir mediante un análisis químico completo, este método es difícil y requiere mucho tiempo, por lo que se estima a partir de mediciones de conductividad, lo que se conoce como salinidad práctica.

Las unidades utilizadas para medir la salinidad fluctúan según el procedimiento de aplicación e informe. Partes por mil o gramos/kilogramo ($1 \text{ ppt} = 1 \text{ g kg}^{-1}$) solía ser el estándar. Hoy en día los valores de salinidad se informan con base en la salinidad práctica sin unidades escala (a veces indicada en unidades prácticas de salinidad como psu).

La diferencia clave entre TDS y salinidad es que el TDS es la medida de todos los tipos de compuestos sólidos en una muestra de agua determinada, mientras que la salinidad es la medida de la cantidad de sal que se disuelve en una muestra de agua determinada. Ambos parámetros se estiman a partir de la conductividad del agua multiplicado por un factor empírico. La medición de salinidad es apropiada para aguas estuarinas y marinas, que fluctúan entre 2 a 42 psu, mientras de los TDS se utilizan para caracterizar cuerpos de agua dulce. Sus unidades también se diferencian, siendo la unidad de la salinidad psu o ppt, mientras que los TDS se reportan en mg L^{-1} o ppm.

Fuente: Elaboración propia.

La desalinización es un proceso que se ha utilizado históricamente para obtener agua fresca desde el agua de mar, siendo la **destilación** uno de los métodos usados para los viajes en barcos de antiguas civilizaciones (Birkett, 2011). Actualmente las tecnologías de desalinización pueden clasificarse principalmente en dos tipos (véase cuadro 2): 1) procesos basados en cambios físicos en el estado del agua o destiladas mediante evaporación (**Térmicas**) y 2) procesos que utilizan una membrana, basadas en el concepto de filtración (**De membrana**). Además de estos dos tipos, en los últimos años se están desarrollando tecnologías híbridas que combinan partes de ambas tecnologías (Abushaban, 2020). Otra forma de clasificar las plantas desalinizadoras es de acuerdo con su grado de desarrollo científico y tecnológico, existiendo plantas convencionales o emergentes, siendo estas últimas, aquellas que incorporan innovaciones tecnológicas que mejoran el proceso de desalinización (reducción en el consumo energético, mejoras en la calidad del agua, disminución en la descarga de salmuera) (Omerspahic y otros, 2022; Saavedra y otros, 2021).

Las tecnologías convencionales **Térmicas** se basan en cambios de fase, como aquellas que usan procesos basados en evaporación, que permiten obtener agua destilada y purificada, con una salinidad menor a 10 ppm. Dentro de los procesos de evaporación, encontramos la Destilación Instantánea Multietapa (MSF por sus siglas en inglés) y Destilación Multiefecto (MED por sus siglas en inglés) (véase cuadro 2). Las MSF dominan las plantas desalinizadoras del Golfo Árabe debido a su fiabilidad y sencillez, así como los menores costos de los combustibles fósiles en el periodo en que fueron instaladas (Curto y otros, 2021). Sin embargo, estas plantas tienen el inconveniente del extremadamente alto consumo energético, producto del consumo térmico de la planta productora de electricidad y el consumo eléctrico de las bombas necesarias para la circulación de los flujos de planta (Valero y otros, 2001). Por estos altos costos, las MSF representan actualmente solo el 17.6% del total de desalinizadoras en el mundo (Curto y otros, 2021). Para disminuir la cantidad de energía necesaria para la vaporización, el proceso de desalinización por destilación utiliza múltiples puntos de ebullición en cámaras sucesivas, cada una operando a una menor temperatura y presión. Además, se requiere realizar un control de escala que permita regular la formación de costras duras en los tubos o superficies, producto de la disolución a altas temperaturas, de ciertos compuestos químicos presentes en el agua de mar (ej. gypsum (CaSO₄), (Buros, n.d.)).

Cuadro 2
Tipos de procesos de desalinización de acuerdo con la energía utilizada

Tipos	Proceso	Sistema	Porcentaje de uso en el mundo	Energía
Evaporación y Condensación	Termal	Destilación solar (SSD) ^a		Térmica (combustibles fósiles) Solar, térmica o geotérmica
		Destilación Instantánea Multi-etapas (MSF)	7	
		Destilación multiefecto (MED)	21	
		Termo-compresión de vapor (TVC)		
		Humidificación y deshumidificación (HDH) ^a		
		Chimenea Solar Chimney (SC) ^a		
	Mecánico	Compresión mecánica de vapor (MVC)		Mecánica
Filtración	Membrana/tradicional	Osmosis Reversa (RO)	65	Mecánica y eléctrica
		Nano-filtración (NF)	2	
		Microfiltración		
		Resina de Intercambio iónico (IXR)		
	Membrana/Emergente	Osmosis directa (FO)		
	Membrana/Emergente	Destilación de membrana (MD)		
		Electrodialisis (ED)	2	Electricidad, química
Electrodialisis reversa				
	Desionización capacitiva (CDI)		Electricidad	
Cristalización		Congelamiento secundario refrigerante (SRF)		Mecánica
		Hidratación (HY)		

Fuente: Sobre la base de Curto y otros (2021); Saavedra y otros 2021; Younos y Tulous (2009).

^a Nuevas soluciones incorporando la radiación solar.

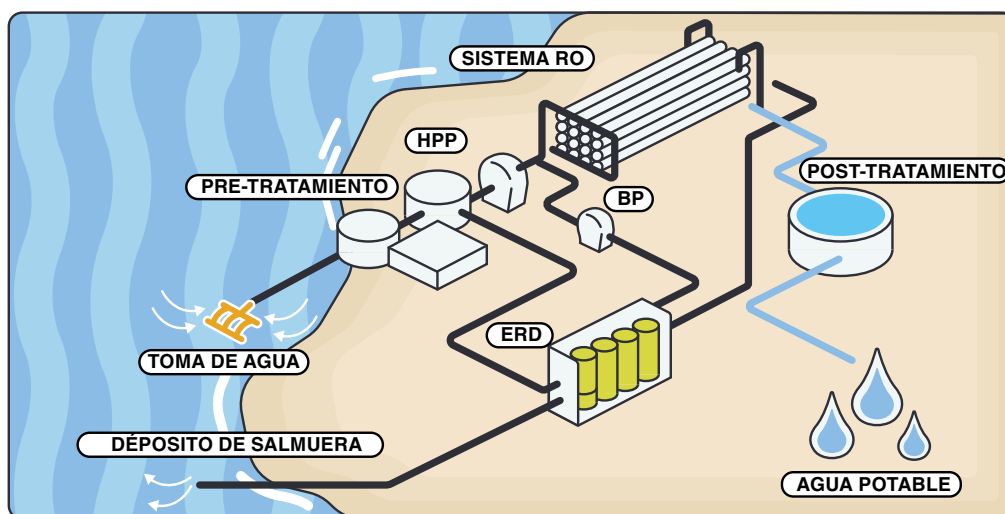
Las plantas con tecnología de **Membrana** utilizan una membrana relativamente permeable para mover agua o sales, con el propósito de generar dos zonas con diferentes concentraciones y así producir agua fresca. Existen distintos tipos de tecnologías de membrana, siendo su principal diferencia el tamaño de iones, moléculas y partículas suspendidas que son retenidas o dejadas pasar a través de la membrana. Los principales procesos de separación incluyen la nano-filtración, ultra-filtración, micro-filtración y la filtración usada en las etapas de pretratamiento de la desalinización para remover las grandes partículas, bacterias, iones y para ablandar el agua (Achparaki y otros, 2012).

En general los tratamientos de membrana usan tecnologías impulsadas por presión o por electricidad. Las que son impulsadas por presión incluyen la Osmosis reversa, la nanofiltración, la ultrafiltración y la microfiltración, de ellas, solo la RO y en cierta medida la nanofiltración, son efectivas en remover las sales. Entre las membranas impulsadas eléctricamente y que son efectivas en remover sales, se incluye la electrodiálisis (ED) y la electrodiálisis reversa (EDR) (Younos y Tulous, 2009).

Todos los procesos de **desalinización de membrana** comparten algunos pasos claves (véase diagrama 2):

- Extracción: El agua de mar es aspirada por una tubería submarina, que tiene un filtro para evitar que entren peces y otras formas de vida marina.
- Pre-tratamiento: se adicionan químicos que aglomeran los sólidos para ser filtrados.
- Desalinización: el agua es forzada a través de una membrana con poros muy pequeños para remover las sales.
- Acondicionamiento del agua tratada (Post-tratamiento): para el caso del agua potable se adicionan minerales esenciales que cumplan con los estándares de potabilidad.
- Manejo de los desechos: las partículas y el agua removidas desde las etapas anteriores son tratadas para ser reingresadas al mar o removidas hacia vertederos.
- Descarga de Salmuera: el agua removida durante el tratamiento tiene concentraciones de sal mayores que el agua de entrada, por lo que es liberada en el fondo del mar para ser dispersada y diluida.

Diagrama 2
Esquema general de una desalinizadora operando con tecnología de osmosis reversa



Fuente: Elaboración propia en base a Kim et al 2019. A comprehensive review of energy consumption of seawater reverse osmosis desalination plants. Applied Energy 254. (HPP: Bomba de alta presión, BP: bomba de refuerzo).

Entre todas estas etapas, el proceso de desalinización es el que consume más energía, por lo que se han realizado múltiples esfuerzos para hacer más eficiente este proceso.

Entre las plantas Convencionales *De Membrana* se encuentra la "Osmosis Reversa" (RO) que es la tecnología más utilizada en el mundo con el 68.7% (Curto y otros, 2021) por su alta rentabilidad, confianza y eficiencia en términos de energía para producir agua dulce (Shaaban y Yahya, 2017).

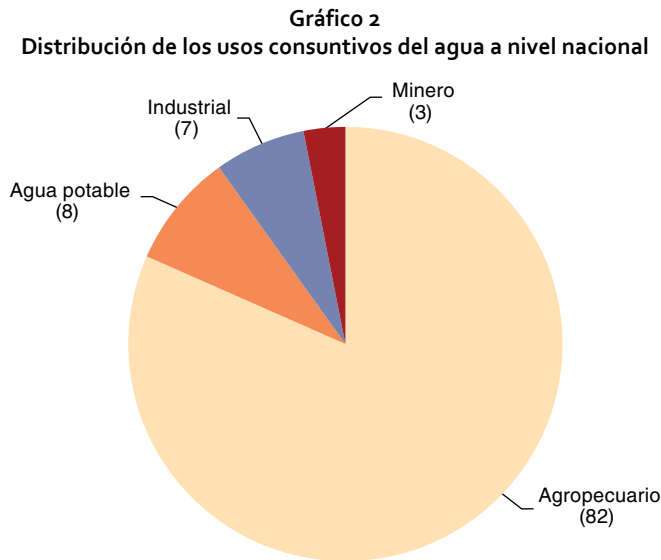
La osmosis reversa (RO) es un proceso físico basado en el fenómeno de la osmosis (diferencia de presión osmótica entre agua de mar y agua pura para remover las sales del agua). En la naturaleza, si dos soluciones con diferentes concentraciones de solutos se separan con una membrana semipermeable, el solvente fluye espontáneamente desde la solución más diluida, hacia la más concentrada, con objeto de balancear el potencial energético de ambas soluciones. Este flujo puede ser reducido progresivamente si un gradiente de presión externo es aplicado sobre la membrana semipermeable (Curto y otros, 2021). En la RO, se aplica una presión mayor que la osmótica sobre el agua de mar captada, con objeto de revertir el flujo, lo que resulta en el paso de agua pura a través de los poros de la membrana sintética, separándola de las sales y produciendo una solución de sales concentradas que es retenida para su eliminación (Younos y Tulou, 2009). Esta tecnología es capaz de remover concentraciones de sólidos disueltos totales por sobre los 45.000 mg/L. El proceso de RO requiere energía para hacer funcionar las bombas que aumentan la presión aplicada al agua de captación, por lo que la cantidad de presión requerida se relaciona directamente con la concentración de TDS en esta agua. Para agua salobre la presión requerida es entre 140 y 400 psi, mientras que para el agua de mar se necesitan sobre 1200 psi (Younos y Tulou, 2009). El índice de recuperación de procesos de RO para un agua de mar promedio (35 000 ppm) se ha mejorado enormemente del 25 % en la década de 1980 al 45 % en 2016 e incluso hasta el 60 % con un sistema de dos etapas (Shahzad y otros, 2017).

Uno de los principales problemas de la RO que utiliza agua de mar, tiene relación con la concentración de partículas suspendidas y los niveles de saturación de sales poco solubles, lo que afecta el funcionamiento de las membranas. Esto puede generar incrustaciones de sales poco solubles, bioincrustaciones (biofouling) cuando los polímeros secretados por microorganismos se adhieren a la superficie de la membrana, aglomeración y cultivo de coloides por interacción entre polímeros inorgánicos y orgánicos, así como incrustaciones de materia orgánica del agua de mar. Es así como, los bioincrustantes son los principales agentes incrustantes con un 48 %, seguidos de coloides inorgánicos con un 18 %, compuestos orgánicos con un 15 %, silicatos y silicatos con un 13 %, depósitos minerales con un 6 % y coagulantes con un 5 % (Shahzad y otros, 2017). Recientemente, se ha informado que las algas microscópicas en los sistemas de captación constituyen una amenaza importante para el funcionamiento confiable de las plantas, por lo que se está evaluando los riesgos del aumento de floraciones de algas nocivas o HAB en el futuro (Villacorte y otros, 2015).

Debido a esto, la etapa de pretratamiento es fundamental para proteger las membranas de la RO, reducir los costos energéticos y aumentar la retención de sales. Esta etapa permite eliminar partículas grandes, materia orgánica, bacterias, grasas y aceites. Estos tratamientos incluyen entre otros: filtración multimedia, de cartucho y de arena para eliminar partículas grandes, materia orgánica y otros materiales, así como la incorporación de químicos para prevenir la formación de precipitados y descamación de la membrana.

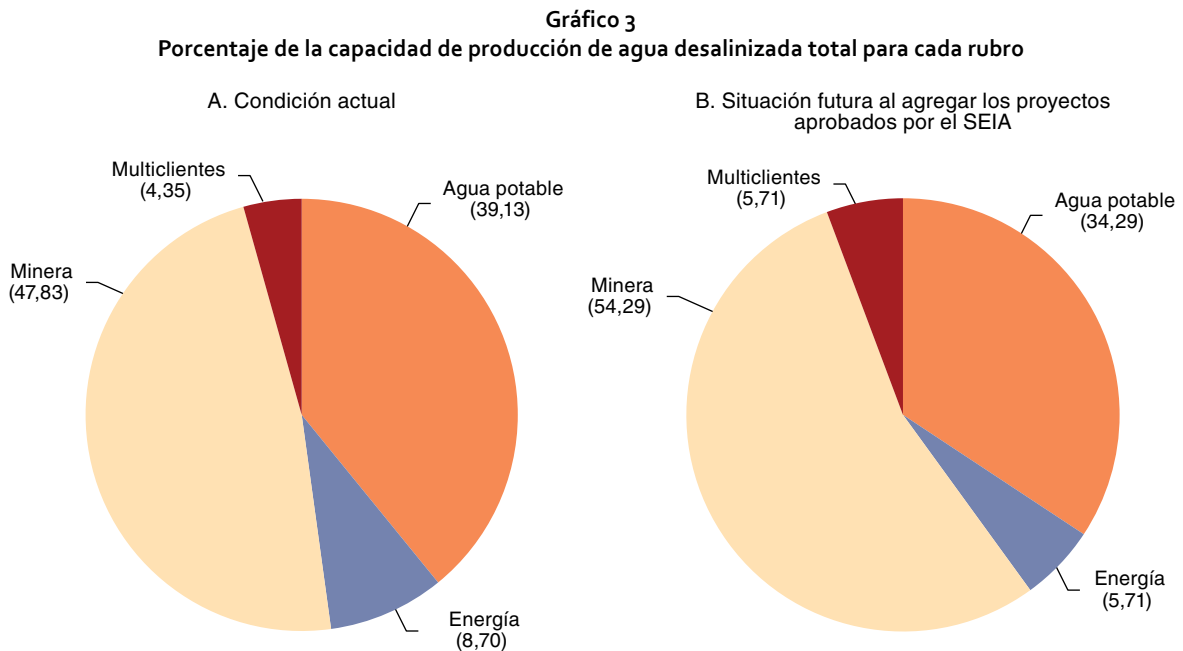
B. Uso de desalinizadoras en la actividad minera de Chile

La minería en Chile representa un 3% de los usos consuntivos del agua, mientras que la agricultura demanda un 82% del agua (véase gráfico 2). Con un consumo de entre 17 y 20 m³ s⁻¹ (Cochilco, 2022; DGA, 2016), la minería concentra sus actividades principalmente en zonas secas del país o cuencas donde se encuentran las nacientes de las aguas. Es así como más del 50% del uso del agua para minería se encuentra entre la I y IV región y un 13% en la XI región de Aysén. La minería consume, además, aguas reutilizadas en sus procesos, los que corresponden a un 73% del consumo total de agua. Del 27% de entradas nuevas de agua, 70% provienen de Aguas continentales (12,09 m³ s⁻¹) y 30% de agua de mar (5,28 m³ s⁻¹) (Cochilco, 2022).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de DGA, 2016.

Esta demanda de agua a nivel nacional varía año a año y se proyecta que para el año 2032 será de $20,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, de los cuales 68% provendrán de agua de mar y 32% de aguas continentales (Cochilco, 2022). La estimación de consumo de agua de origen continental para la próxima década alcanza los $6,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, lo que representa una disminución de un 45% respecto al consumo de 2020, mientras que el consumo de agua de mar llegaría a $14,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ al 2032, lo que significa un crecimiento de 165% (Cochilco, 2022).



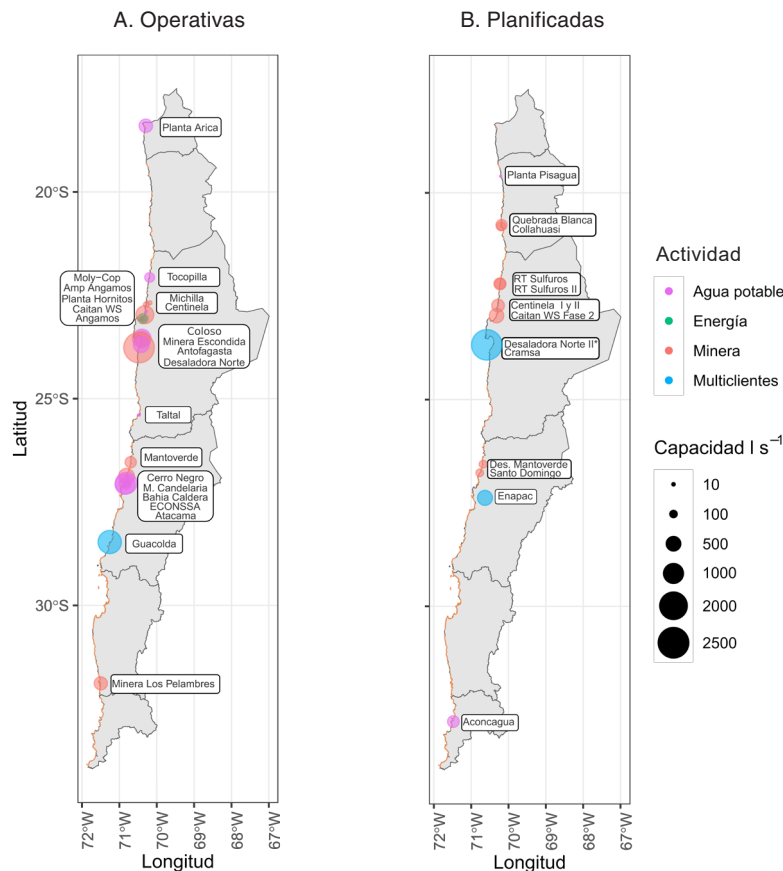
Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos del Sistema de Evaluación Ambiental (año 2022).

En Chile la creciente necesidad de ampliar el abastecimiento de agua, en especial en el norte del país, ha provocado un aumento considerable de plantas desalinizadoras. De acuerdo con el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), al año 2022, existen 23 plantas desalinizadoras en operación, de

las cuales 11 son utilizadas en minería, 9 empleadas en la potabilización de agua para consumo humano, 1 destinada a múltiples usos y 2 para uso energético (termoeléctrica) (véase gráfico 3 y mapa 3A). Además, existen 10 industrias que utilizan Sistemas de Impulsión de Agua de Mar (SIAM) y 1 que utiliza ambos sistemas (DESAL/SIAM). Siguiendo con el Servicio de Evaluación Ambiental, actualmente existen otros 12 proyectos aprobados, 8 de ellas son desalinizadoras para uso en la minería, 3 para agua potable y 1 multiclientes (véase gráfico 3 y mapa 3B). En el caso de la minería, la industria del Cobre utiliza actualmente 11 plantas desalinizadoras y 6 SIAM, proyectando construir otras 9 desalinizadoras antes del año 2025.

Mapa 3

Mapa del norte de Chile con la ubicación de las plantas desalinizadoras operativas y planificadas registradas en el SEIA, destacando el rubro y la capacidad de producción de agua desalinizadas



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos del Sistema de Evaluación Ambiental (año 2022).

Nota: Se presenta la capacidad de producción de agua desalinizada (círculos) para las diferentes actividades productivas. En color naranja sobre la línea de costa se destaca la ubicación de las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) pertenecientes a los sindicatos de pescadores artesanales.

La mayor parte de las plantas desalinizadoras y SIAM se encuentran ubicadas en la Macrozona Norte, siendo la Región de Antofagasta la que concentra el mayor número (véase mapa 3A), alcanzando un total de 19 operativas, de las cuales 13 son desalinizadoras y 6 se utilizan actualmente en la industria minera.

En cuanto a la capacidad de producción de agua desalinizada, actualmente se producen 8748 l s⁻¹ y con las 14 nuevas plantas se aumentará la capacidad a 31266 l s⁻¹, estas plantas estarán ubicadas principalmente en la costa de la región de Antofagasta y Atacama (véase mapa 3B).

Casi la totalidad de las plantas desalinizadoras que operan actualmente y las que se proyecta construir, utilizan la tecnología de RO, mientras que solo dos de ellas usa la desalinización térmica. Esto se debe a

que la RO posee ventajas por sobre las térmicas, especialmente por el menor gasto energético, lo que se traduce en un menor costo de producción del agua desalinizada. En el cuadro 3 se detallan algunas de las ventajas y desventajas de ambos tipos de tecnología, sin embargo, actualmente se están desarrollando nuevas tecnologías para optimizar la RO y mejorar algunas de las desventajas que se describen en la tabla.

Cuadro 3
Comparación entre las tecnologías de desalinización de membrana y térmicas

	Osmosis reversa (RO)	Compresión mecánica de vapor (MVC)	Referencia
Nº de plantas operando en Chile	21	2	Actualización tabla Cochilco 2020 a partir de SEIA (elaboración propia)
Tipo de tecnología	De Membrana	Térmica	
Potencial Fuente de energía renovable	Hidroeléctrica, Eólica, Solar, Oceánica, Mareas, geotérmica, biomasa	Geotérmica Biomasa, Solar	Curto y otros, 2021
Tipo de energía usada	Mecánica o eléctrica	Mecánica o eléctrica	Curto y otros, 2021
Ventaja	Mayor eficiencia energética Menor costo de inversión Puede utilizar agua de mar o subterránea		Altmann y otros, 2019
Desventaja	Descamación y fouling de la membrana Alta presión de funcionamiento (energía eléctrica) Mayor costo para la construcción (tecnología). Uso de antifouling y antiincrustantes en pre y post-tratamientos Generación de Salmuera	Mayor costo energético Elevación de la temperatura del medio receptor Generación de salmuera	Do Thi y otros, 2021 Shahzad y otros 2017
Cantidad de energía diaria requerida (kWh/m ³)	8,2 6 5-9	11,1 7-12	Youssef y otros, 2014 Altmann y otros, 2019 Do Thi y otros, 2021
Cantidad de CO ₂ producido (kg CO ₂ /m ³)	3,8 8,6	5,1 11,5	Youssef y otros, 2014 Do Thi y otros, 2021
Costo de producción de agua potable (USD/m ³)	0,75 0,52-0,56 0,45-1,72	0,92 2-2,6	Youssef y otros, 2014 Do Thi y otros, 2021 Shahzad y otros 2017
Salmuera	No altera la temperatura	Aumenta en 1,37 a 1,82 veces la temperatura promedio del agua	Do Thi y otros, 2021

Fuente: Elaboración propia sobre la base de varios autores indicados en la columna de referencia del cuadro.

II. Descripción de la zona costera en que se instalan las plantas desalinizadoras

Una de las características principales de las plantas desalinizadoras es que utilizan agua de mar o agua salobre para su proceso, por lo que deben ubicarse muy cerca de la costa. Para comprender los potenciales efectos de este tipo de tecnologías sobre el ambiente costero, es necesario conocer algunos conceptos básicos de la geografía y oceanografía propias de la costa de Chile-Perú, que posee cualidades especiales y relevantes para la toma de decisiones frente a la instalación de plantas desalinizadoras.

El Sistema de Corrientes de Humboldt (SCH) también llamado Sistema de Corrientes Perú-Chile, se extiende desde la latitud 42°S hasta cerca del ecuador y se caracteriza por un viento dominante en dirección norte a lo largo de la costa, el transporte de Ekman⁵ en alta mar, el afloramiento o surgencia costera de aguas subterráneas frías y ricas en nutrientes y una pesca altamente productiva (Thiel y otros, 2007). La costa puede dividirse en cinco zonas de acuerdo a sus características físicas: i) la plataforma costera de Perú que tiene hasta 100 km de ancho; ii) la zona norte de Chile (norte de 32°S) con poca influencia de agua dulce y una plataforma costera muy angosta (< 10 km); iii) una zona de plataforma más amplia entre 32 y 36°S, iv) una zona de plataforma amplia (~70 km) e influencia de agua dulce especialmente en invierno, entre los 36° y 42°S y (v) una región de alta latitud (>42°S) con una costa de fiordos y con fuerte influencia de agua dulce (Thiel y otros, 2007). Entre los 5 y 40°S el viento que sopla desde el suroeste produce la surgencia costera que es el proceso por el cual este viento suroeste, con la ayuda de la rotación de la tierra, empuja el agua superficial mar afuera, obligando al agua profunda (fría y rica en nutrientes) a acercarse a la costa (véase mapa 4). La intensidad de esta surgencia varía con la latitud, siendo mayor en otoño-invierno frente a Perú, en primavera-verano frente al norte de Chile y en el verano austral al sur de ~30°S. Las condiciones de surgencia intensa pueden llegar a durar entre 3 y 7 días (Garreaud y otros, 2002), durante los cuales el agua cercana a la costa se enfría, posee alta concentración de nutrientes y esto produce un incremento en la producción primaria y secundaria llevando a disminuir los niveles de oxígeno disuelto. Gracias a los aportes de nutrientes por la surgencia costera, el SCH es uno de los ecosistemas costeros más productivos del mundo (Strub y otros, 1998) y sostiene importantes pesquerías de anchovetas y sardinas (Palma y otros, 2006).

⁵ Movimiento promedio de las masas de agua oceánicas en todas las profundidades, con un ángulo de aproximadamente 90° a la izquierda en el hemisferio sur, respecto a la dirección del viento en la capa superficial (Ekman 1905).

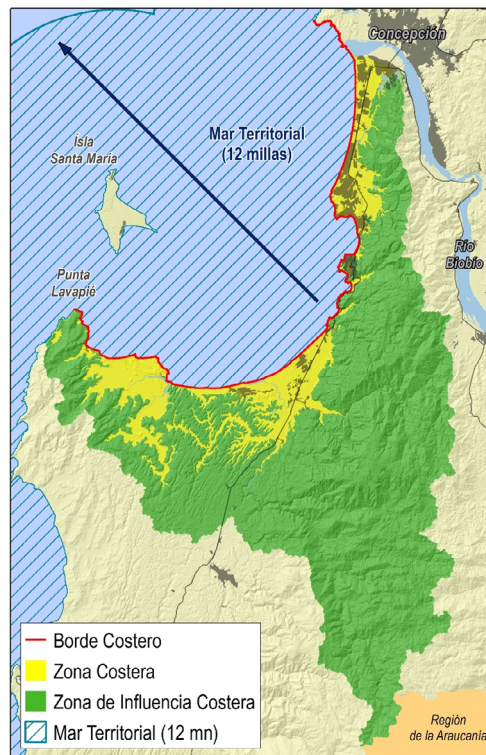
Recuadro 2 ¿Qué es la zona costera?

A nivel global, las zonas costeras y marinas representan uno de los espacios más relevantes para los procesos de manejo y conservación, debido a las características interactivas de esta área de intercambio entre al mar y la tierra (Barragán, 2014). Sin embargo, no existe hasta hoy una definición universal de los límites de este espacio, llevando a que cada país defina los criterios para delimitar las zonas costeras y marinas de acuerdo con el enfoque y finalidad que persigan. En general, la zona costera se define como un espacio de anchura variable donde interactúan procesos de origen marino y terrestre, generando ecosistemas de alto valor natural, paisajístico y cultural. Esto quiere decir que la zona costera no es un borde o una franja, sino un espacio de transición de anchura variable, cuya extensión hacia el continente dependerá de los factores naturales de conformación.

Chile posee una línea de costa de aproximadamente 83850 km, considerando el perímetro de todos los territorios insulares y oceánicos. El Mar Territorial—desde la línea de costa hasta las 12 Millas náuticas de distancia mar afuera—tiene una superficie de 12.085.700 Ha y la Zona Económica Exclusiva va desde la línea de costa y se extiende hasta la distancia de 200 Mn.

De acuerdo con la legislación chilena, no se considera la zona costera propiamente tal (véase el mapa), sino solo el **"Borde costero"** que es una parte de la zona costera y se define como aquella franja de territorio que comprende los terrenos de playas fiscales, la playa, las bahías, golfos, estrechos y canales interiores y el mar territorial de la República, cuyos límites están definidos por norma.

Mapa Ejemplo de una zona costera del centro-sur de Chile para describir los conceptos de borde costero (línea roja), zona costera (área amarilla) y zona de influencia costera (área verde)

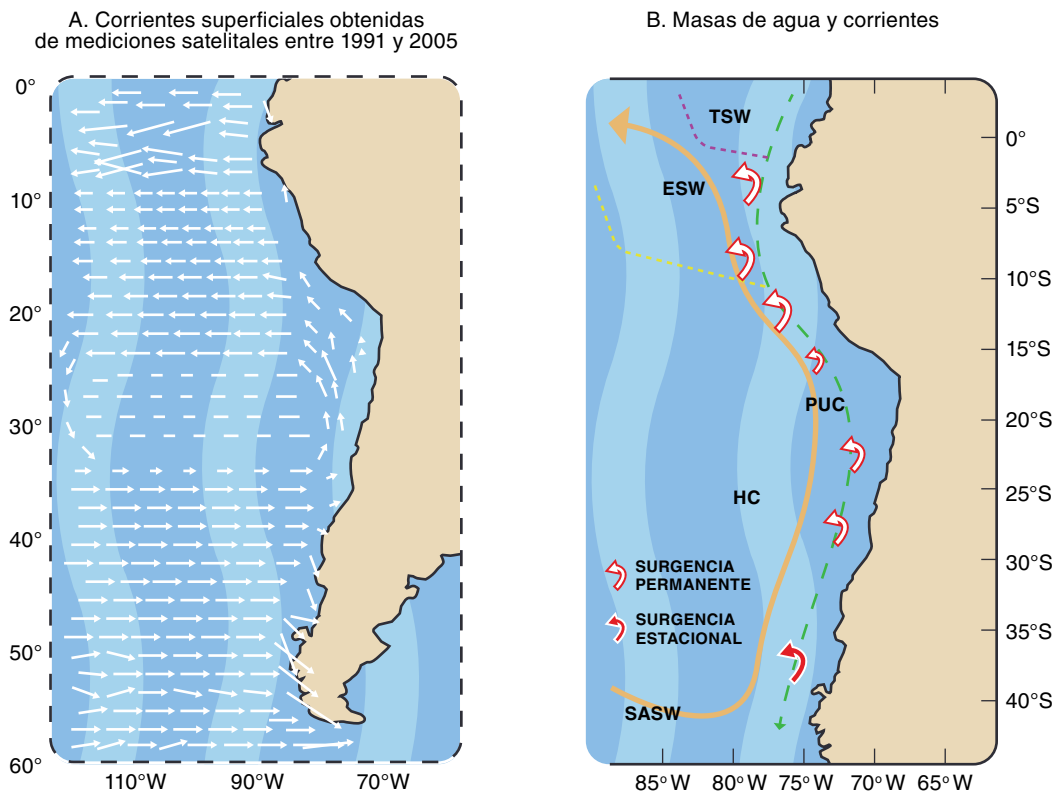


Fuente: Saavedra, L.M. y Vargas, C. (2020). *Sistema costero adyacente a la cuenca del Biobío*. EULA-Chile Centro de Ciencias Ambientales: Evolución y perspectivas a 30 años de su creación. Universidad de Concepción.

Fuente: Elaboración propia.

La extensa distribución latitudinal de Chile, así como la presencia del SCH, genera claras diferencias en las condiciones oceanográficas de la zona norte y sur del país, así como en sus patrones de variabilidad espacio-temporal (Strub y otros, 2019). Es así como bajo condiciones normales, las condiciones ambientales físicas son relativamente estables en el submareal poco profundo entre 18°S y 35°S (HCS), donde la salinidad típicamente oscila entre 34 y 35 y la temperatura puede variar de 12°C a 22°C (Thiel y otros, 2007). Al sur de los 35°S comienza a haber una mayor influencia de los ríos y desde ~40°S a 56°S se encuentra un importante sistema de fiordos y canales que se caracterizan por un alto contenido de agua dulce (33-33,7 psu en la superficie), producto de las elevadas precipitaciones y múltiples descargas de agua dulce de los ríos, aguas subterráneas y/o el derretimiento de los glaciares (Iriarte y otros 2014; Saldías y otros 2019). En estos sistemas de fiordos, la interacción entre el agua oceánica y agua dulce produce fuertes gradientes verticales y horizontales en salinidad, densidad, razones entre nutrientes orgánicos e inorgánicos y la disponibilidad de luz (Iriarte y otros, 2014).

Mapa 4
Características del Sistema de Corrientes de Humboldt



Fuente: Elaboración sobre la base de Montecino y Lange (2009). Mapa 4b: representación esquemática de la surgencia estacional (flechas blancas) y permanente (flechas rojas). La línea sólida naranja representa la Corriente de Humboldt (HC) y las líneas punteadas la Corriente polar subsuperficial (PUC, verde), Agua Tropical Superficial (TSW, violeta), Agua Ecuatorial Superficial (ESW, amarilla) y Agua superficial Sub-Antártica (SASW).

Otra característica importante del SCH es la presencia de una Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO) permanente que posee un espesor aproximado de 500 m y la profundidad más somera de su límite superior (25-50 m) es alcanzada en las costas de Perú y del norte de Chile (Strub y otros, 1998). De las seis regiones hipóxicas permanentes en los océanos del mundo, la ZMO del Pacífico Sur oriental es volumétricamente la cuarta más grande, ocupa $2,18 \pm 0,66 \times 10^6$ km³ y representa el 11% a nivel mundial. Su núcleo está centrado frente a Perú, donde el límite superior es poco profundo (≤ 100 m) y la extensión vertical puede alcanzar los 600 m (Fuenzalida y otros, 2008). En la zona norte de Chile, el límite superior de la ZMO se

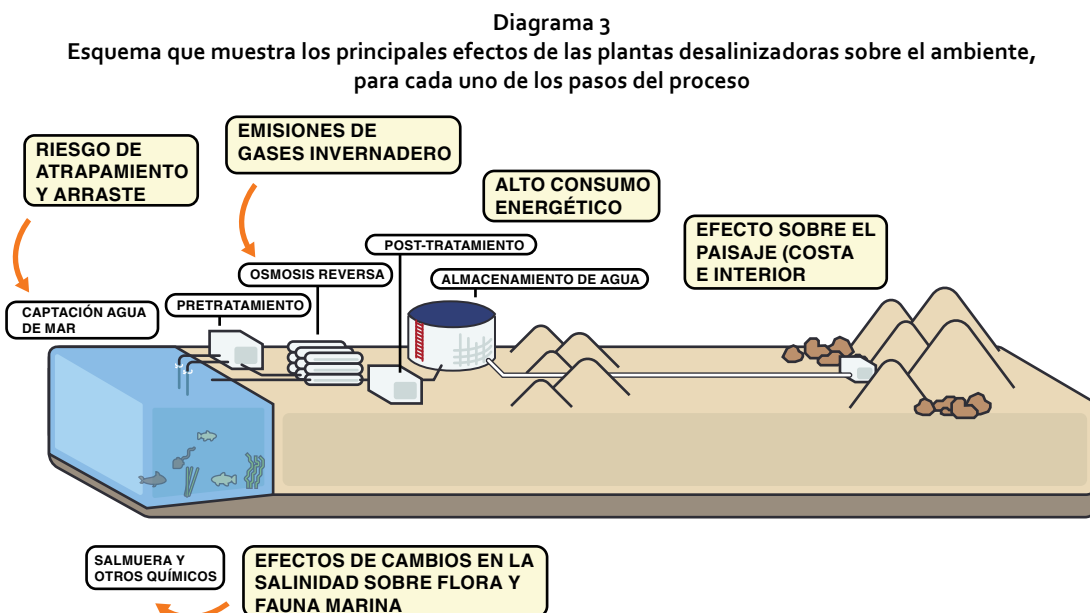
encuentra a menores profundidades (<100 m) por lo que se encuentran muy bajos niveles de oxígeno (hipoxia <2 ml L⁻¹) en zona profunda de la columna de agua. Estas aguas se han asociado a la masa de agua Ecuatorial Subsuperficial (ESSW) que es una fuente de aguas de surgencia, por lo que se produce una extensa zona de bajo oxígeno durante estos eventos (Morales y otros, 1999).

La variabilidad de las condiciones oceanográficas del SCH, así como el espesor de la ZMO, pueden ser modificadas por El Niño Oscilación del Sur (ENSO), que genera cambios en la productividad y biogeoquímica costera, así como en la estructura de la trama trófica (Morales y otros, 1999). Durante los eventos El Niño se interrumpe el flujo hacia el norte de agua fría y rica en nutrientes y disminuye la intensidad de la surgencia (Palma y otros, 2006).

Estas características ambientales del norte de Chile generan las condiciones idóneas para sostener una importante biomasa de anchovetas que se distribuyen cerca de la costa (<60 mn) y cuyas larvas se agregan a menos de 5 mn, por sobre los 100 m de profundidad (Morales y otros, 1996). Esto quiere decir que, principalmente en los meses de invierno, la zona costera del norte se transforma en un importante criadero de esta especie que sostiene una de las pesquerías más importantes de Chile y Perú.

III. Efectos potenciales de las plantas desalinizadoras en los ecosistemas

Las plantas desalinizadoras pueden generar diversos impactos sobre el medio ambiente (véase diagrama 3), entendiendo como impacto a “la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada” (SEA, 2017). Entre los principales impactos se pueden mencionar los siguientes: 1) la descarga de salmuera; 2) emisiones de gases efecto invernadero; 3) emisiones de químicos tóxicos (ej. cloruro de hierro, ácido sulfúrico, hipoclorito de sodio, biosulfito de sodio y otros); 4) alto consumo energético (DoThi y otros, 2021); 5) contaminación acústica y problemas de vibración debido al bombeo de alta presión (Dawoud y Al Mulla, 2012). A estos impactos de la planta desalinizadora propiamente tal, se deben sumar los asociados a los ductos de transporte del agua desalada y la planta de generación eléctrica (si es que se incluye como parte del proyecto).



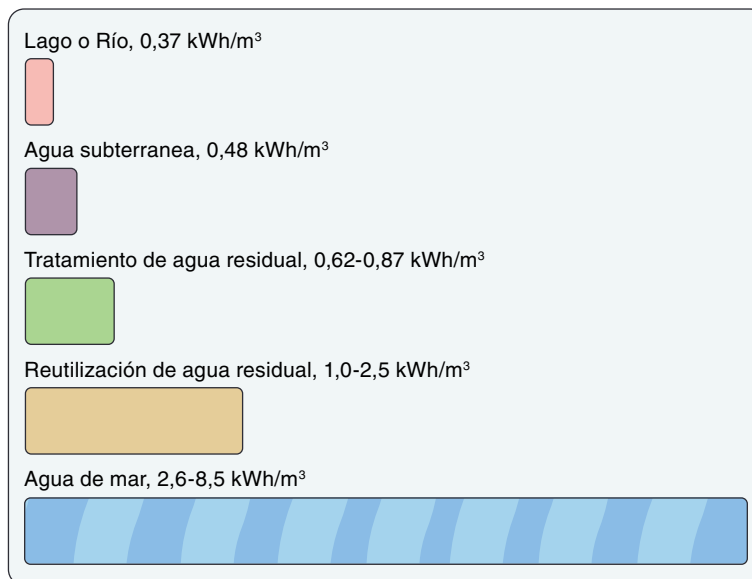
Fuente: Elaboración propia sobre la base de antecedentes presentados en el texto.

Los efectos en el ecosistema marino tienen dos dimensiones, la toma de agua de mar y la descarga al mar de la salmuera concentrada, esta última se considera el mayor impedimento ecológico en la instalación de una planta de desalinización de agua de mar. A continuación, se describen algunos de los potenciales efectos de las plantas desalinizadoras sobre el ambiente, obtenidos desde la revisión de literatura científica publicada.

A. Efecto asociado al gasto energético de la desalinización

La eficiencia de recuperación de agua en la operación de desalinización depende del tipo de tecnología y de la calidad del agua de ingreso (Xu y otros, 2013). Las plantas desalinizadoras requieren entre 8-20 veces más intensidad de Energía que las tecnologías de tratamientos de agua (DO Thiet y otros, 2021) (véase diagrama 4), por lo que el costo energético es más del 30% del costo total. La desalinización es uno de los procesos de tratamiento de agua de mayor consumo energético, consumiendo alrededor de 75,2 TWh por año, que es aproximadamente el 0,4% de la electricidad mundial (IRENA, 2012). Desde el punto de vista termodinámico, la desalinización de agua se obtiene aplicando la energía necesaria para separar las sales que contiene, previamente mezcladas en un proceso natural. La energía mínima requerida para un metro cúbico de agua dulce a partir de agua de mar (concentración de 35 g kg^{-1}) es cerca de 1 kWh m^{-3} (con tasa de recuperación del 50%). Por lo tanto, una de las principales desventajas de la desalinización es la dependencia de una fuente de energía segura. Por ejemplo, en los países del Consejo de Cooperación del Golfo (CCG), aproximadamente el 50% de la energía primaria se consume en plantas de cogeneración y desalinización y en Arabia Saudí se estimaba que, el año 2009, la cuarta parte de todo el petróleo y el gas producidos en el país se usaba para generar electricidad y producir agua dulce.

Diagrama 4
Cantidad de energía típicamente requerida por unidad de agua producida, para diferentes cualidades de agua de entrada



Fuente: Modificado de Shahazad y otros 2017. Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability, Desalination 413, 52-64.

Se han realizado variados estudios comparando diferentes tecnologías de desalinización basados en el consumo de energía, condiciones tecnológicas, impacto ambiental, calidad del producto y de costo (Do Thi y otros, 2021). A partir de estos análisis se concluye que la tecnología de membrana es óptima

debido al menor consumo energético y menores emisiones de CO_2 . La ósmosis reversa es más eficiente que la desalinización térmica, pudiendo consumir en promedio entre 5-9 kWh por cada m^3 cúbico procesado (véase Cuadro 3). Sin embargo, la unidad de costo de los productos aún es cercana a la tecnología térmica debido a sus altos costos de operación y mantenimiento.

Por otra parte, el consumo de energía del proceso de ósmosis reversa depende de la tasa de recuperación y de los sólidos disueltos totales (TDS) en el agua de captación, ya que la presión osmótica está relacionada con la concentración de TDS. Es así como frente a condiciones de alta turbidez, alta concentración de algas, alta temperatura y TDS alto, el costo de RO será más alto que los procesos impulsados térmicamente debido a los extensos requisitos del proceso de pretratamiento (Shahzad y otros, 2017).

Para el caso de América Latina, el consumo energético promedio de la desalinización en Chile es de $3,4 \text{ kWh m}^{-3}$ (SONAMI), lo que se traduce en un costo que alcanzaba los US\$0,8 a US\$1,2 por m^3 en el pasado, y con las actuales energías renovables, ha disminuido al orden de US\$0,5/ m^3 (B2B Media Group, 2022). A este consumo de la planta, debe sumarse el consumo energético del transporte a los yacimientos mineros (14 kWh m^{-3}) que se encuentran emplazados en su mayoría, en sectores cordilleranos sobre los 3000 msnm y a una distancia de aproximadamente 180 km de la costa (SONAMI), lo que aumenta el costo en unos US\$8 o US\$10 por m^3 (B2B Media Group, 2022). Esto quiere decir que en la actualidad el costo por cada metro cúbico de agua desalinizada producida (utilizando energía renovable), para una mina que esté ubicada sobre los 3000 msnm en la cordillera, fluctúa entre US\$8,5 a US\$10,5.

B. Efecto asociado a la emisión de gases de efecto invernadero

Considerando que la energía que alimenta al 99% de las desalinizadoras proviene de combustibles fósiles (Do Thi y otros, 2021), la contaminación del aire es otro efecto significativo del proceso de desalinización. De acuerdo con cálculos actuales, para desalinizar 1000 m^3 de agua por día se requiere el equivalente aproximado de 10.000 toneladas de petróleo por año (Gude, 2016), lo que contribuye a la contaminación ambiental y a los impactos indirectos asociados a la emisión de gases invernadero, tales como la acidificación de los océanos y el aumento del nivel del mar. Esta situación ha llevado a denominar la desalinización como fuente de “petróleo por agua” o “agua por energía no renovable” o bien, el agua es nombrada como el “nuevo petróleo” ya que existirá una demanda apremiante sobre las reservas agotables de combustibles fósiles en todo el mundo. Esto crea impactos sociales y económicos, tales como la dependencia de países ricos en petróleo e inestabilidad económica porque experimentarán altas demandas de suministro de hidrocarburos, de la misma manera que los países ricos en agua, una demanda similar por el recurso hídrico (Gude, 2016).

El alto uso de combustibles fósiles para energizar las plantas desalinizadoras se traduce en una huella de carbono, que para el caso del agua de mar producida por RO se ha calculado entre 0,4 y 6,7 kg $\text{CO}_2 \text{ eq m}^{-3}$ (Cornejo y otros, 2014). En la actualidad, la capacidad de desalinización instalada a nivel mundial aporta 76 millones de toneladas (Mt) de CO_2 al año y se espera que crezca a 218 millones de toneladas de CO_2 por año para el 2040 (Shahzad y otros, 2017).

C. Efectos potenciales sobre el ecosistema marino

1. Efectos de la captación de agua de mar

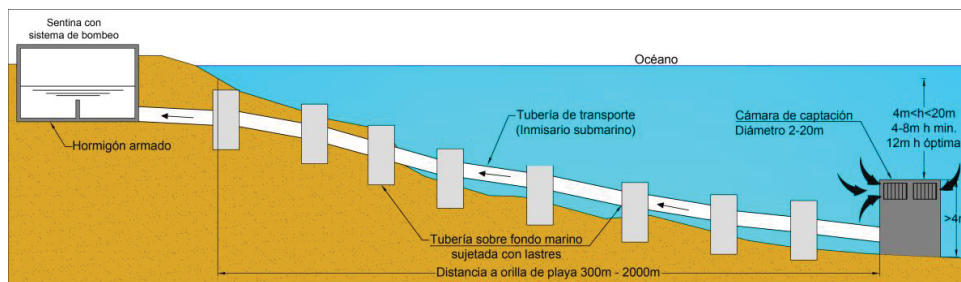
El ecosistema marino se ve afectado por los sistemas de captación de agua de mar, porque, junto con grandes volúmenes de agua de mar, la vida marina también es succionada hacia las plantas de desalinización. Los potenciales impactos ambientales asociados con la descarga de salmuera a menudo se consideran como una de las mayores amenazas al instalar una planta desalinizadora, sin embargo, ahora se ha demostrado

ampliamente que un emisario correctamente modelado, diseñado y ubicado estratégicamente puede mitigar eficazmente los impactos de descarga, mientras que el atrapamiento y el arrastre de la vida marina como resultado de la operación de la toma de agua es a menudo una preocupación mayor y más difícil de cuantificar (Missimer y Maliva, 2018).

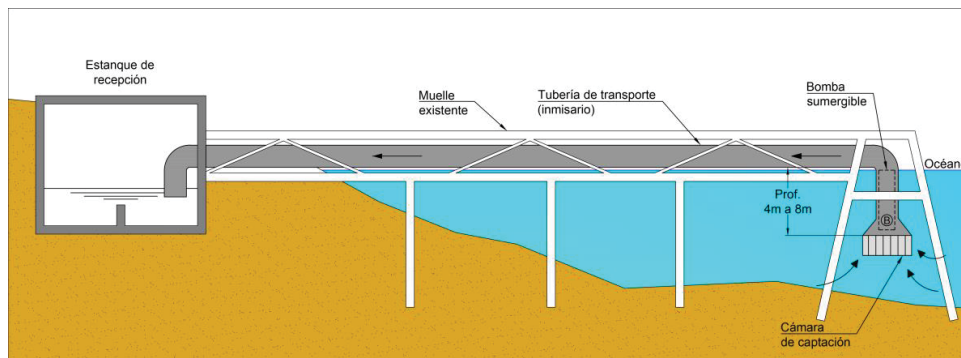
Existen diferentes sistemas de captación de agua que pueden ser utilizados por las plantas desalinizadoras (véase diagrama 5), pero todos los diseños requieren consideraciones hidráulicas para obtener y entregar agua económicamente rentable y con el menor impacto ambiental, dentro del marco regulatorio local (FIPA, 2016). En general, los sistemas de captación se clasifican en abiertos cuando el agua es extraída directamente desde el océano y cerradas cuando el agua es captada mediante pozos o galerías de infiltración. En las captaciones abiertas el agua es extraída directamente del océano mediante una tubería que puede construirse elevada o sumergida. Este tipo de captación debe considerar, además, la construcción de un pozo húmedo, sentina u otro mecanismo para contener el sistema de bombas, así como una estación de bombeo que suele ubicarse en la costa ya que requiere de fácil acceso y conexión con la planta elevadora. En las captaciones cerradas, el agua de mar o salobre es extraída desde el borde costero, a través de lechos de arena saturada u otros estratos subterráneos permeables. Las plantas desalinizadoras de gran tamaño y con una capacidad de producción $>440 \text{ l s}^{-1}$, utilizan por lo general los sistemas de captación abiertos debido a que las cerradas requieren condiciones geomorfológicas específicas (Orostizaga, 2018; FIPA, 2016).

Diagrama 5
Esquema de captaciones de tipo abiertas

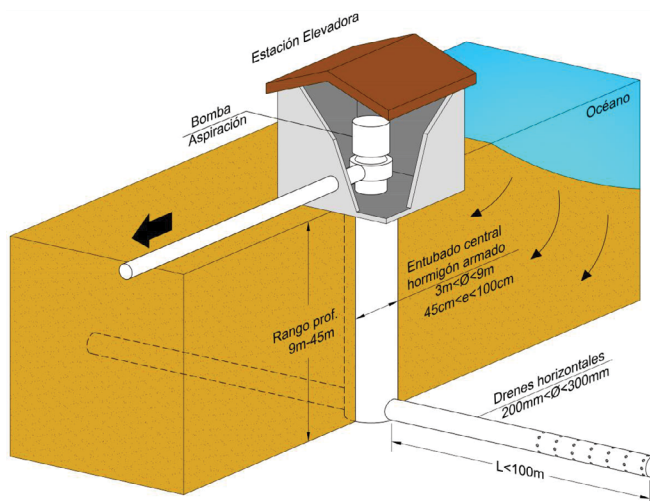
A. Elevadas



B. Sumergidas, y captaciones cerradas



C. Pozos horizontales



Fuente: Orostizaga Salinas, E.L. (2018) Diseño preliminar de captaciones costeras de agua de mar- aplicación en la costa central y norte de Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile.

El uso de captaciones en mar abierto puede resultar en pérdidas de organismos acuáticos cuando estos colisionan con las rejillas de la toma (atrapamiento) o son arrastrados a la planta con la fuente de agua (arrastre) (Lattemann y Höpner, 2008).

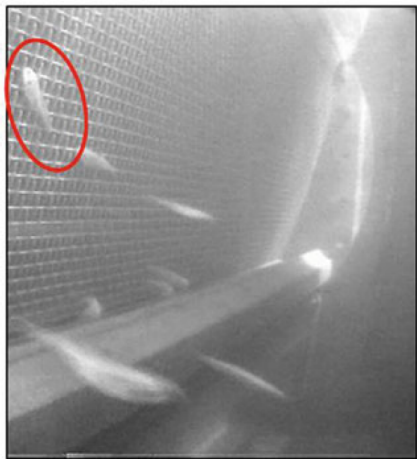
El *atrapamiento* ocurre cuando organismos marinos lo suficientemente grandes (más grandes que el tamaño de la malla gruesa), quedan atrapados contra las mallas que cubren la abertura de las tuberías de entrada, debido a la alta velocidad de flujo del agua de alimentación y las fuerzas hidráulicas asociadas (véase imagen 1). El destino de estos organismos afectados difiere entre los diseños de toma y entre las especies de vida marina, la edad y las condiciones del agua. Los organismos marinos pueden morir, lesionarse o debilitarse, esto da como resultado la pérdida de abundancia y diversidad de organismos en el entorno marino local del punto de la toma de agua de mar. Algunas especies “resistentes” pueden sobrevivir al impacto y ser devueltas al mar, pero la tasa de supervivencia de 24 horas de las especies menos robustas y/o los peces juveniles puede ser inferior al 15 % (Einav y otros 2002; Hogan, 2015; Pankratz, 2015). Los organismos sujetos a sufrir atrapamiento son individuos lo suficientemente grandes como para ser retenidos por la malla (abertura máxima de 14,2 mm, EPA 2014), este grupo incluye organismos juveniles y adultos más grandes que se mueven activamente, como los peces, mamíferos marinos y tortugas.

El *arrastre* ocurre cuando organismos pequeños pasan a través de las mallas hacia las bombas de succión, estos organismos no tienen capacidad de nadar o tienen capacidad limitada. Algunos de estos organismos (ej. huevos de peces) son completamente pasivos y carecen de la capacidad de evitar el flujo de entrada independientemente de la velocidad. Algunos ejemplos son las bacterias, propágulos de algas, fitoplancton, zooplancton, huevos, larvas y otros (Einav y otros, 2002; Elsaid y otros, 2020; Hogan, 2015; Lattemann y Höpner, 2008; Pankratz, 2015). Generalmente se considera que los organismos arrastrados tienen una tasa de mortalidad del 100 % (Pankratz, 2015).

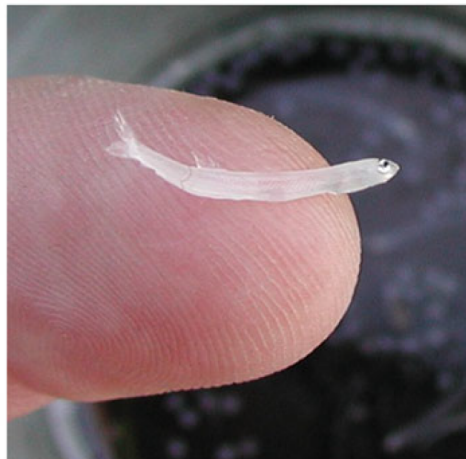
Elsaid y otros, (2020) describe un tercer término, *aprisionamiento (entrapment)*, se da en organismos de tamaño intermedio (ni tan pequeños para ser arrastrados, ni tan grandes para ser atrapados) en el área de toma, sin posibilidad de escapar de regreso al mar abierto, por lo que se convierten en residentes del sistema de toma de agua de mar.

Imagen 1
Atrapamiento de organismos marinos

A. Juvenil de lubina rayada en una malla de una toma de agua



B. Larva de pez que representa un tamaño que está en potencial riesgo de arrastre



Fuente: Imagen extraída de Hogan 2015. Impingement and Entrainment at SWRO Desalination Facility Intakes. In T. M. Missimer, B. Jones y R. G. Maliva (Eds.), *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities* (pp. 57–78). Springer International Publishing.

La muerte del plancton puede tener graves consecuencias en la red alimentaria, ya que estos organismos son la base de la red alimentaria marina; sin ellos gran parte de la vida acuática local estará en peligro. Este efecto de la captación del agua, sumado al aumento de la salinidad por la salmuera, pueden empujar a la fauna marina cerca de sus tolerancias máximas; en consecuencia, se puede esperar que estos cambios afecten la distribución de las especies y causen cambios en el éxito del reclutamiento, la fecundidad y la tasa de crecimiento (Sharifinia y otros, 2019).

En vista de estos efectos de la captación de agua sobre el plancton (incluidos las larvas de peces, crustáceos, moluscos y fase microscópica de macroalgas), recientemente la legislación chilena está implementando la estimación del impacto ambiental producido por la succión de agua en sistemas industriales para la revisión de proyectos sometidos al SEIA (FIPA, 2016) y se focaliza en los aspectos relacionados a la metodología de estimación de Pérdida de adultos equivalentes (PAE).

Existe una variedad de métricas para estimar el riesgo derivado de mortalidad asociada a los efectos de *atrapamiento* y *arrastre* en sistemas de captación de agua: pérdidas de individuos; pérdidas equivalentes a adulto; pérdidas porcentuales; efectos en la población y efectos en la comunidad. La estimación de la PAE es una de las métricas más utilizadas, siendo un método de evaluación demográfica que iguala el número de organismos perdidos por efectos de atrapamiento y arrastre a un número equivalente de adultos (u otra etapa del ciclo de vida), considerando las tasas de mortalidad específicas para cada etapa del ciclo de vida y los resultados obtenidos son fácilmente entendibles en el contexto de gestión de poblaciones de organismos marinos, que pueden ser incorporados en un análisis de costo beneficio, que permita visualizar los potenciales efectos económicos y para las tramas tróficas (FIPA, 2016; DIRECTEMAR, 2021). Para alimentar este modelo, se requiere contar con la identificación de las especies locales susceptibles a ser atrapadas, así como su densidad en el área de captación (línea base). El cálculo del atrapamiento debe realizarse para cada estado del ciclo de vida (huevo, larva, juvenil), considerando las características de diseño de la captación (flujo, eficiencia y mortalidad en el sistema de captación) y las estimaciones de sobrevivencia de estos estados de desarrollo. Sin embargo, este modelo se basa en suposiciones conservadoras, es muy sensible a las incertidumbres en los valores de los parámetros de entrada y no puede ser validado independientemente utilizando datos específicos del sitio. Por lo que, a pesar de su utilidad para interpretar las pérdidas por arrastre y por impacto en un contexto ecológico o de uso humano, se debe tener cautela tanto en la selección del modelo, como en la parametrización del modelo, para garantizar que los resultados sean creíbles (Barnthouse, 2004).

No solo las plantas desalinizadoras extraen grandes volúmenes de agua de los océanos, bahías y estuarios, sino que otros procesos industriales como las centrales termoeléctricas. Kelley (2011) reporta que muchas agencias estatales y federales de Estados Unidos, reconocen que las tomas de agua de mar abiertas devastan los ecosistemas acuáticos, una sola planta de energía que use tomas de agua de mar abiertas “podría afectar a un millón de peces adultos en un período de solo tres semanas, o arrastrar entre tres y cuatro mil millones de peces y mariscos más pequeños en un año, desestabilizando las poblaciones de vida silvestre en el ecosistema circundante”, las pérdidas ecológicas de las tomas de agua de mar abiertas se estiman en millones de dólares, y hay pérdidas adicionales en el mercado de especies comerciales y de pesca recreativa.

Además, se debe tener en cuenta el impacto acumulativo en el medio marino si múltiples desalinizadoras y centrales termoeléctricas son emplazadas en un área determinada, esto podría aumentar el daño ambiental cuando están ubicadas en regiones biológicamente productivas que sirven como semilleros para la vida marina. Kelley (2011) cita el ejemplo de la Bahía de Santa Mónica, en California, lugar en donde existen tres plantas de energía que reciclan el 13 % del agua de la Bahía cada seis semanas, lo que significa que, en un período de once meses, todo el volumen de la Bahía de Santa Mónica se recicla a través de estas centrales eléctricas.

2. Efectos de la descarga de salmuera

Todos los procesos de desalinización producen grandes cantidades de Salmuera que se caracteriza por contener un alto porcentaje de sales y minerales disueltos, el cual puede tener una temperatura mayor a la que fue tomada (dependiendo del tipo de tecnología), y que además contiene residuos de productos químicos de pretratamiento y de limpieza (sus productos y sub-productos de reacción), así como metales pesados formados por la corrosión de los materiales (véase cuadro 4) (Lattemann y Höpner, 2008). La composición química y concentraciones de la salmuera en su mayoría están determinadas por la fuente de agua, la calidad y la recuperación de la planta (Katal y otros, 2020). En función del volumen de salmuera, se pueden considerar diferentes métodos para su eliminación. Estos incluyen descargas al mar, pozos profundos o estanques de evaporación; disposición en conjunto con efluentes industriales o de aguas residuales; o la producción de sal y otros minerales como subproductos (Ahmed y otros, 2000, 2001, 2003; Glueckstern y Priel, 1997; Squire y otros, 1997; Voutchkov, 2011).

Cuadro 4
Propiedades típicas de efluentes de osmosis inversa

Propiedades físicas	Salinidad: Hasta 65.000–85.000 mg L ⁻¹ .
	Temperatura: Temperatura ambiente del agua de mar.
	Densidad de la pluma: boyantes negativa.
	Oxígeno disuelto (OD): Si se utilizan tomas de pozo: generalmente por debajo del OD del agua de mar ambiental debido al bajo contenido de OD del agua de la fuente. Si se utilizan tomas abiertas: aproximadamente la misma que la concentración de OD del agua de mar ambiental.
Aditivos y subproductos para el control de biofouling	Coagulantes (p. ej., cloruro de hierro III) Puede haber presencia si se acondiciona el agua de la fuente y no se trata el agua de retrolavado del filtro. Puede causar coloración del efluente si no se iguala antes de la descarga.
	Coagulantes auxiliares (p. ej., poliacrilamida): Puede estar presente si se acondiciona el agua de la fuente y no se trata el agua de retrolavado del filtro.
Aditivos para el control de incrustaciones	Antiincrustantes: Concentración típica por debajo de los niveles tóxicos. Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄): No presente (reacciona con el agua de mar para producir compuestos inofensivos, es decir, agua y sulfatos; la acidez es consumida por el agua de mar naturalmente alcalina, por lo que el pH de la descarga suele ser similar o ligeramente inferior al del agua de mar ambiental).
Contaminantes debido a la corrosión	Metales pesados: Puede contener niveles elevados de hierro, cromo, níquel, molibdeno si se utiliza acero inoxidable de baja calidad.
Productos químicos de limpieza	Productos químicos de limpieza Soluciones alcalinas (pH 11–12) o ácidas (pH 2–3) con aditivos como: detergentes (ej., dodecilsulfato), agentes complejantes (ej., EDTA), oxidantes (ej., perborato de sodio), biocidas (ej., formaldehído).

Fuente: elaboración propia sobre la base de Lattemann y Höpner (2008).

La salmuera puede generar daños potenciales al ecosistema, ya sea cambiando la salinidad típica del agua, alterando la estratificación de la columna de agua por variación de la densidad, fluctuando el pH, la eutrofización, la proliferación asociada con metales tóxicos depositados en el ecosistema acuático, así como los efectos esterilizantes de los desinfectantes capaces de causar diversos problemas dentro del hábitat acuático y subterráneo (Petersen y otros, 2018; Xevgenos y otros, 2016). Como la salmuera es más densa y dos veces más salina que el agua de mar, se hunde hasta el fondo y puede causar efectos perjudiciales en los organismos bentónicos, principalmente a través del estrés osmótico (Clark y otros, 2018; Elazzaoui y otros, 2019). El efecto de la salmuera sobre el ecosistema marino dependerá de la ubicación, la tolerancia de los organismos marinos afectados y el tamaño del área del mar involucrada. Las comunidades y ecosistemas más sensibles serán las más afectadas, provocando quizás la desaparición total de estas especies en las zonas de influencia de la salmuera (Fernández-Torquemada y otros, 2019; Lattemann y Höpner, 2008).

En un estudio de los efectos ecotoxicológicos de una planta desalinizadora sobre una población de lapas (*Patella rustica*), se demostró un mayor efecto en las lapas del sitio expuesto a la salmuera y algunos efectos en los sitios aledaños (150 y 250 m), mientras que el sitio de referencia no mostró efecto alguno (Benaissa y otros, 2020). En las lapas del sitio expuesto, se encontraron las mayores actividades de enzimas de defensa antioxidativa y biotransformación, tales como Catalasa (Cat), glutathione-peroxidasa (T-Gpx y Se-Gpx), glutathione-reductasa (GR) y Glutathione-s-transferasa (GST). En estos individuos, la activación del sistema de defensa estaba acompañado por daño genotóxico (altos niveles de CSP3), lo que indica una mayor vulnerabilidad del sistema inmune frente a condiciones estresantes y por lo tanto mayor riesgo de mortalidad. Estos efectos estarían asociados a los cambios fisicoquímicos del agua de mar (salinidad, alcalinidad y/o temperatura) y a la presencia de químicos residuales del proceso de post y pretratamiento y metales pesados de la corrosión (Benaissa y otros, 2020).

Además de cambios en la salinidad, posibles químicos tóxicos y cambios de temperatura, la descarga de salmuera aumenta la alcalinidad total, como consecuencia de un aumento de casi el doble del carbonato de calcio, sulfato de calcio y otros elementos en el agua de mar. La tolerancia a la alcalinidad total de la vida marina y los cambios en la tasa de alcalinidad que la descarga de salmuera provocada en el agua de mar aún no se ha determinado con exactitud debido a un número muy limitado de experimentos (Danoun, 2007). A este aumento de la alcalinidad, se suma la acidificación y disminución del oxígeno alrededor de las descargas de la planta, debido a los aditivos químicos utilizados en los procesos de pretratamiento (Lattemann y Höpner, 2008), lo que puede explicar parte de los efectos observados en los ecosistemas influenciados por salmuera de desalinizadoras.

El efecto sobre las comunidades va a depender, entre otros factores, del tipo de tecnología de desalinización usada, por ejemplo, las descargas de ósmosis inversa tienen una mayor densidad, y normalmente se hunden al fondo marino, lo que afecta a las comunidades bentónicas. Por el contrario, las descargas cálidas de las plantas de destilación pueden afectar a las comunidades pelágicas debido a su dispersión superficial (Fernández-Torquemada y otros, 2019).

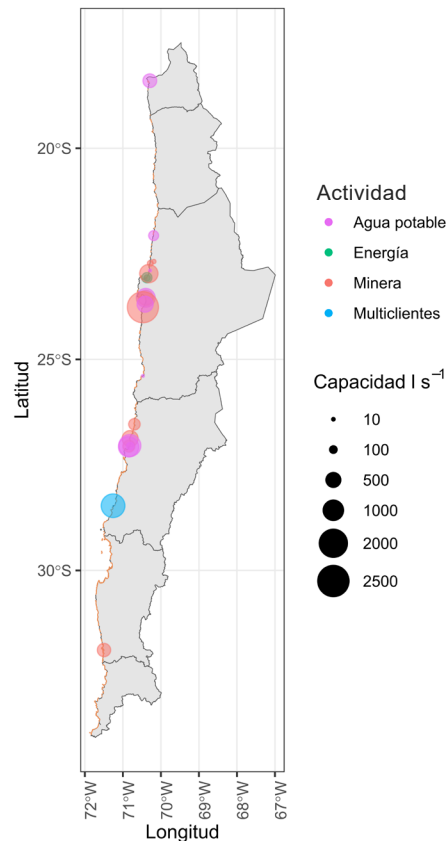
Tomando en consideración todos estos potenciales efectos de la salmuera sobre el ecosistema marino/costero, se ha planteado que es fundamental que las descargas se realicen en áreas con alto recambio de agua para que se produzca una dilución inicial rápida del efluente, generando impactos a sólo unos metros de la descarga, mientras que si se implementa una eliminación de salmuera hacia áreas con baja dilución inicial, se podrían generar alteraciones en la estructura comunitaria de pastos marinos, bosques de macroalgas, arrecifes de coral y sistemas de sedimentos blandos (Jenkins y otros, 2012). Para definir el **Área de Influencia (AI)** de la planta desalinizadora, es clave tener claro el área en que se pueden producir impactos adversos sobre los ecosistemas, considerando al medio marino como elemento receptor del impacto, ya que el proyecto deberá contemplar distintas AI para cada componente susceptible de verse afectado por las obras y actividades de la planta (ej. agua, aire, paisaje, cultural, salud humana, flora-fauna, entre otros) (SEA, 2017, DS40). En la definición de estas AI se debe considerar, además, los límites máximos admisibles de las variables que afectará la descarga de la desalinizadora, especialmente

la salinidad y otras sustancias potencialmente tóxicas, para lo que es necesaria la modelación de la hidrodinámica y el proceso de mezcla de esta pluma salina (Winckler, 2021). Esta modelación tiene como objetivo predecir el comportamiento del efluente salino, considerando las características del sistema de descarga y del fluido receptor, con lo cual se obtiene el área geográfica que podría verse afectada por la masa de agua más salada que se dispersa por el fondo marino (boyantes negativa).

a) Producción de salmuera en Chile

A partir del análisis de los Estudios y declaraciones de Impacto ambiental disponibles en el SEIA, se obtuvieron datos de la producción de salmuera de cada planta desalinizadora (véase mapa 5) Actualmente se produce un total de 16.066 L s^{-1} de salmuera, lo que equivale a una producción de $1.388.102 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$. Esta producción incrementará en el futuro a 29.124 L s^{-1} o $2.516.314 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$. Sin embargo, esta descarga de salmuera se distribuye en distintas zonas costeras de las regiones del norte del país, principalmente en la costa de Antofagasta (véase mapa 5). La salinidad de la salmuera producida por estas plantas desalinizadoras fluctúa entre 41 y 79,8 psu, con un promedio de 64 psu, lo que corresponde a las salinidades típicamente producidas por tecnologías basadas en membranas y principalmente para la osmosis reversa, donde el proceso de desalinización tiene una eficiencia de alrededor del 50%, o sea que, si la salinidad del mar es de 34 psu, la salmuera tendrá una concentración del doble de la original (app 68 psu).

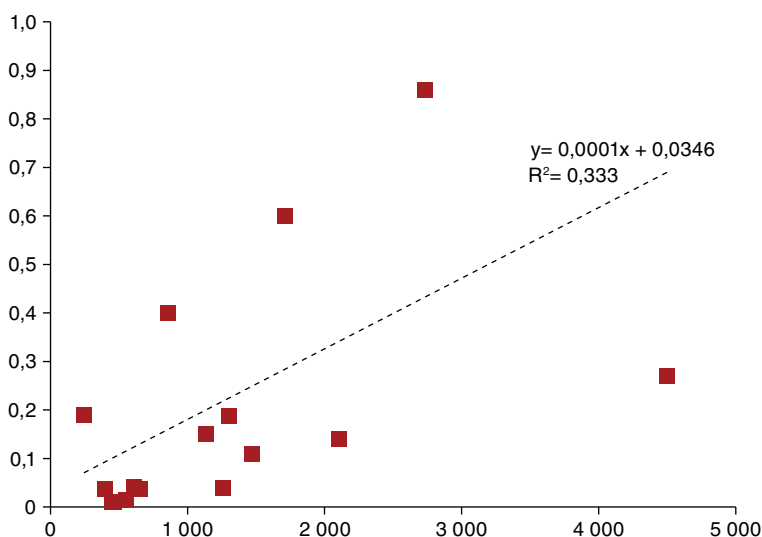
Mapa 5
Ubicación de plantas desalinizadoras operativas en el norte de Chile, con el volumen de salmuera producida (máximo informado en el SEIA)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SEIA.

En cuanto al Área de influencia de la salmuera, informada por algunos de los EIAs disponibles en el SEIA, se observa un rango muy variable de AIs y no se relacionan directamente con el volumen de salmuera producido por la empresa, fluctuando entre 0.01 a 0.86 hectáreas en torno al ducto de la descarga (véase gráfico 4). Esta alta variabilidad en el AI informado por las empresas, puede deberse en parte, a que cada proyecto utiliza distintas formas de modelar la dispersión de la pluma y solo a partir del año 2021 existe una Guía para el modelado de la hidrodinámica y el proceso de mezcla de descargas térmicas y salinas (Winckler, 2021). Por otra parte, las diferencias se podrían deber a que el AI no solo depende del caudal de salmuera producida, si no que de las características propias de cada zona costera y las dinámicas oceanográficas que dominan la hidrodinámica y mezcla del sector.

Gráfico 4
Relación entre volumen de salmuera producido por empresa y el área de influencia del proyecto



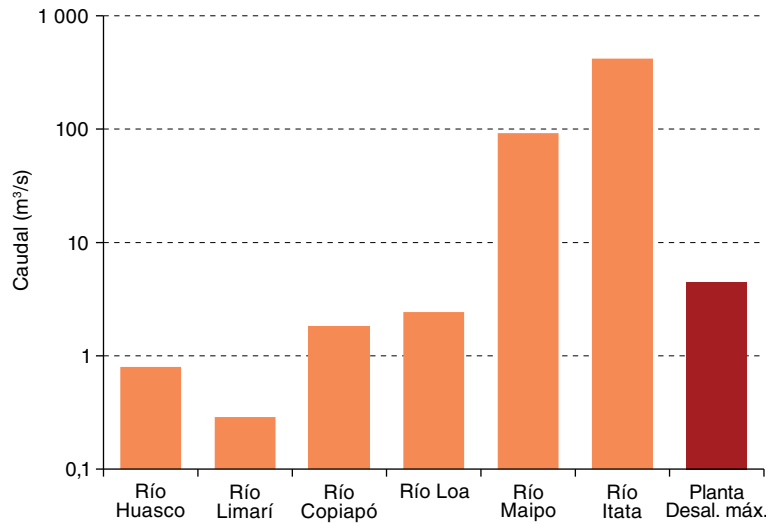
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos entregados en los EIAs disponibles en el SEIA.

Para generar una mejor idea de la magnitud del caudal de salmuera que se está incorporando actualmente al sistema costero de Chile, en el gráfico 5 se presenta una comparación entre el máximo volumen diario de salmuera de una planta desalinizadora, en relación con los caudales promedios de los principales ríos de la zona norte y centro del país. Considerando el escaso aporte de agua dulce de los ríos de la zona norte, una planta desalinizadora que produce un máximo de $4,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de salmuera, está incorporando una descarga hasta 2 veces mayor que la del río Loa (zona norte) y que corresponde a un 4% del agua que aporta el río Maipo (zona central).

Esto no deja de ser significativo, considerando que las condiciones oceanográficas de la costa norte son bastante estables a lo largo del año, en lo que respecta a la salinidad (y alcalinidad), por lo que el aporte de estos efluentes es una fuente de variabilidad para el ecosistema y en el mediano a largo plazo puede llevar a cambios en las comunidades que habitan la costa. Además, la potencial agregación de descargas de salmuera en aquellas zonas costeras en que se ubican actualmente o donde se está planificando instalar plantas desalinizadoras muy cercanas entre ellas, produciría una suma de los efluentes de salmuera, pudiendo generar un mayor impacto sobre el ecosistema costero (ej. caso de Mejillones). Este tema deja abiertas múltiples interrogantes que debieran ser investigadas y consideradas para la planificación de la ubicación de plantas desalinizadoras.

Gráfico 5

Comparación entre el caudal máximo de salmuera producido por una planta desalinizadora operando actualmente y el caudal promedio de los principales ríos del norte y centro de Chile: escala logarítmica



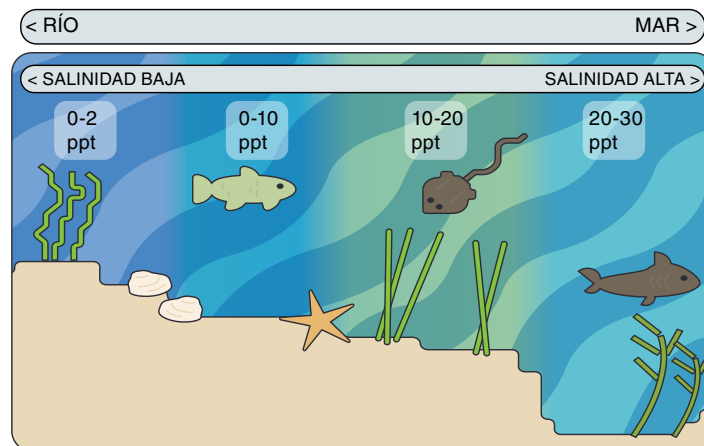
Fuente: Elaboración propia. Caudal promedio de los ríos obtenidos de la base de datos pública de la DGA. Caudal máximo de salmuera de desalinizadora obtenido de datos analizados del SEIA.

b) Efecto de la salinidad

La salinidad es uno de los factores abióticos más importantes para las especies en ambientes marinos (Podbielski y otros, 2022). Desde un punto de vista fisiológico, los organismos deben tener una concentración interna de sales específica y relativamente constante; sin embargo, esto puede verse influenciado por la concentración de sal del medio circundante debido a la entrada a través de membranas semipermeables. En función de su capacidad de regulación osmótica, los organismos acuáticos generalmente se pueden dividir en *osmorreguladores* y *osmoconformadores*. Mientras que los osmorreguladores regulan la presión osmótica de sus fluidos corporales independientemente de la del agua de mar ambiental, los osmoconformadores, la mayoría de los invertebrados, se caracterizan por fluidos extracelulares (es decir, hemolinfa, fluido celómico, fluido intersticial) que son isosmóticos con respecto al agua de mar (Somero y otros, 2017) (véase diagrama 6).

Diagrama 6

Esquematización de la adaptación de los organismos acuáticos a diferentes niveles de salinidad en los ambientes costeros



Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 5 se presentan algunos experimentos que determinaron los niveles de salinidad altos que alteran algunos parámetros biológicos de las especies expuestas. Se observa que la mayor parte de las especies tolera rangos mayores a 40 psu, sin embargo, los equinodermos parecen ser un grupo más sensible al aumento de la salinidad por sobre el máximo natural (Voorhees y otros, 2013; Fernández-Torquemada y otros, 2013). Es relevante destacar que la mayor parte de estos estudios fueron realizados con especies de otras partes del mundo, existiendo muy pocas investigaciones con organismos de las costas de Chile. En este sentido, se puede mencionar el estudio de Rodríguez-Rojas y otros (2020), quienes determinaron el efecto de la salmuera sobre una macroalga parda filamentosa que se encuentra comúnmente en las costas del norte de Chile (*Ectocarpus sp.*), encontrando que la exposición a corto plazo a salmuera puede provocar efectos perjudiciales a nivel ecofisiológico y celular, principalmente en términos de hipersalinidad y estrés oxidativo.

Cuadro 5
Ejemplos de tolerancia a rangos de salinidad elevados, para diferentes grupos de organismos marinos

Grupo	Rango	Efecto	Referencia
Peces			
Pez arroz japonés (<i>Oryzias latipes</i>)	> 35‰	Menor inflación de la vejiga natatoria de las larvas, aumentando el consumo de oxígeno. Aumento de la cantidad de días para la eclosión, lo que reduce la supervivencia y la competitividad de las larvas en la naturaleza.	(Kupsco y otros, 2017)
Pejerrey (<i>Atherinops affinis</i>)	> 50,8 ‰	Afecta la sobrevivencia.	(Voorhees y otros, 2013)
	> 50,8 ‰	Afecta la biomasa.	
Dorada del Japón (<i>Pagrus major</i>)	50 ‰	Oscurecimiento de la coloración del cuerpo y primeros efectos letales.	(Iso y otros, 1994)
Platija jaspeada (<i>Pseudopleuronectes yokohamae</i>)	55 ‰	Concentración letal incipiente a las 140 h.	(Iso y otros, 1994)
Platija de oliva (<i>Paralichthys olivaceus</i>)	48,6 ‰	Mortalidad de individuos recién eclosionados.	(Yoon y Park, 2011)
Moluscos bivalvos y gastrópodos.			
Almeja (<i>Cyclina sinensis</i>)	50 ‰	Todas las almejas mueren en 36 h.	(Cao y otros, 2015)
	55 ‰	Todos los animales mueren en 12 h.	
Mejillón (<i>Mytilus galloprovincialis</i>)	43,3 ‰	Afecta el desarrollo.	(Voorhees y otros, 2013)
Abalón rojo o californiano (<i>Haliotis rufescens</i>)	36,8 ‰	Afecta el desarrollo.	(Voorhees y otros, 2013)
Almeja japonesa (<i>Ruditapes philippinarum</i>)	60‰	Efectos letales a las 48h de exposición.	(Iso y otros, 1994)
Lapa (<i>Patella rustica</i>)	40- 65‰	Aumento de la actividad enzimática de defensa antioxidante. Daño molecular por genotoxicidad.	(Benaissa y otros, 2020)
Ostra (<i>Crassostrea corteziensis</i>)	50‰	Disminución de la tasa de aclaramiento, consumo de oxígeno, tasa de excreción de amonio y capacidad de crecimiento.	(Guzmán-Agüero y otros, 2013)
Ostra (<i>Crassostrea virginica</i>)	45-55‰	La supervivencia y la reproducción se vieron afectadas, con efectos tóxicos atribuidos principalmente al contenido de cobre de la salmuera.	(Mandelli, 1975)
Mejillón (<i>Perna perna</i>)	40 ‰	Inhibición de la tasa de aclaramiento.	(Resgalla Jr. y otros, 2007)
Moluscos cefalópodos			
Sepia (<i>Sepia apama</i>)	45 ‰	Desarrollo de embriones mal formados.	(Dupavillon y Gillanders, 2009)
	50-55‰	Mortalidad total de huevos.	
	>45 ‰	Crías mas pequeñas y con peso menor.	

Grupo	Rango	Efecto	Referencia
Equinodermos			
Erizo (<i>Strongylocentrotus purpuratus</i>)	38,1 ‰	Afecta el desarrollo.	(Voorhees y otros, 2013)
	44,2 ‰	Afecta la fertilización.	
Dólar de arena (<i>Dendraster excentricus</i>)	39,6 ‰	Afecta el desarrollo.	(Voorhees y otros, 2013)
	40,3 ‰	Afecta la fertilización.	
Pepinos de mar (<i>Holothuria spp</i>)	> 38,3	Se detectó la desaparición de equinodermos cuando la salinidad excedía la salinidad natural máxima (38,3 psu).	(Fernández-Torquemada y otros, 2013)
Estrella de mar (<i>Echinaster sepositus</i> , <i>Marthasteria glacialis</i>)			
Erizo (<i>Paracentrotus lividus</i> , <i>Genocidaris maculata</i>)			
Ofiuros (<i>Amphiura chiajei</i>)			
Crustáceos			
Camarón misidáceo (<i>Americamysis bahia</i>)	47,8 ‰	Afecta la sobrevivencia.	(Voorhees y otros, 2013)
	49,7 ‰	Afecta el crecimiento.	
Crustáceos Copepodos			
<i>Tigriopus japonicus</i>	63,6 ‰	Mortalidad de adultos.	(Yoon y Park, 2011)
Fitoplancton			
<i>Skeletonema costatum</i>	55,1 ‰	Inhibición del crecimiento de la población.	(Yoon y Park, 2011)
<i>Chlorella vulgaris</i>	61,7 ‰	Inhibición del crecimiento de la población.	
<i>Tetraselmis suecica</i>	56,9 ‰	Inhibición del crecimiento de la población.	
<i>Isochrysis galbana</i>	42,2 ‰	Inhibición del crecimiento de la población.	
Rotíferos			
<i>Brachionus plicatilis</i>	68,1 ‰	Mortalidad de recién nacidos.	(Yoon y Park, 2011)
Foraminíferos			
Bentónicos	Aumento de 3-13% con respecto a las condiciones ambientales	Disminución de la abundancia y diversidad en la zona de descarga de salmuera.	(Kenigsberg y otros, 2020)
Bacterias			
Heterótrofas bentónicas	Aumento de 5-20% con respecto a las condiciones ambientales	60% de reducción en la abundancia bacteriana.	(Frank y otros, 2017)
Heterótrofas (asociadas a corales)	Aumento de 10% con respecto a las condiciones ambientales	Reducción significativa de la abundancia.	(Petersen y otros, 2018)
Corales			
<i>Stylophora pistillata</i> <i>Acropora tenuis</i> <i>Pocillopora verrucosa</i>	Aumento de 10% con respecto a las condiciones ambientales	signos claros de blanqueamiento.	(Petersen y otros, 2018)
Arrecifes de coral	Aumento de 29% con respecto a las condiciones ambientales	Aumento a un 65% de la cobertura de coral muerto.	(Nasr y otros, 2019)

Grupo	Rango	Efecto	Referencia
Algas			
Huiro flotador (<i>Macrocystis pyrifera</i>)	>53 ‰	Afecta la germinación.	(Voorhees y otros, 2013)
	51,8 ‰	Afecta el crecimiento.	
<i>Ulva pertusa</i>	53,3 ‰	Afecta la esporulación.	(Yoon y Park, 2011)
<i>Ectocarpus sp</i>	35,91, 36,79 ‰	Menor eficiencia fotosintética Mayor daño oxidativo Activación de genes relacionados al estrés oxidativo	(Rodríguez-Rojas y otros, 2020)
Pastos marinos			
<i>Posidonia oceanica</i>	>39,1 ‰	Deterioro de la fisiología vegetal, alta incidencia de necrosis foliar y disminución de la cobertura alrededor del área del emisario.	(Gacia y otros, 2007)
<i>Posidonia oceanica</i>	38 ‰	Reducción de la tasa de crecimiento.	(Latorre, 2005)
	45 ‰	Originan la muerte del 50%.	
	50	Originan la muerte del 100% de las plantas en 15 días.	
<i>Posidonia oceanica</i>	>39,1 ‰	Reducción del crecimiento de las hojas, manchas necróticas en el tejido de las hojas y senescencia prematura de las hojas y una mayor mortalidad de las plantas.	(Sánchez-Lizaso y otros, 2008)
	45 ‰	El 50 % de las plantas murieron en 15 días.	
Comunidad de macrofauna			
Moluscos, Oligoquetos, Poliquetos, Anfípodos	48,9 ± 2,7 ‰	Disminución de la abundancia de especies y cambios en la estructura comunitaria alrededor del área del emisario.	(Riera y otros, 2012)
Poliquetos	46 ‰	Disminución de la abundancia, riqueza y diversidad.	(Nabavi y otros, 2013)

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica de publicaciones científicas.

c) Efecto de otros componentes de la salmuera

Además de una alta concentración de sal, la salmuera de descarga contiene otros componentes químicos, provenientes de diversos procesos utilizados en el proceso de desalinización, pre-tratamiento, mantención de tuberías o limpieza de las membranas en el caso de filtración por ósmosis inversa (Lattemann y Höpner, 2008; Sharifinia y otros, 2022). Muchos de ellos son metales pesados o compuestos orgánicos utilizados como antifouling y antiincrustantes para la limpieza de las tuberías y para mantener la integridad de las membranas de ósmosis reversa. Entre estos compuestos se pueden mencionar: i) desinfectantes como el cloro, ii) antiincrustantes como el ácido sulfúrico y ácido fosfórico, iii) removedores de cloro como el bisulfito de sodio, iv) antifouling como el propilenglicol, v) coagulantes como el cloruro de amonio y cloruro férrico, vi) floculantes como la policrilamida y vii) suplementos minerales como el hidróxido de calcio. La mayoría de estos compuestos son utilizados principalmente en las plantas de ósmosis reversa, lo que sigue siendo una de sus desventajas en comparación con los otros tipos de tecnologías (Do Thi y otros, 2021).

Los metales pesados como hierro, níquel, cromo, plomo, cobre y molibdeno pueden exceder los límites de descarga y generar efectos ecológicos adversos si no se tratan y eliminan adecuadamente (Roberts y otros, 2010; Sharifinia y otros 2019; Sharifinia y otros, 2022). Algunos de estos metales pesados usados como antiincrustantes o que provienen de la infraestructura de la planta, pueden ser introducidos a la salmuera durante el proceso de desalinización, mientras que otros como por ejemplo el cobre pueden estar presentes naturalmente en el agua de captación y son concentrados por la planta, como parte de la salmuera. Independientemente de la fuente, la descarga de salmueras con alto contenido de metales tiene el potencial de perjudicar comunidades costeras, ya que algunos biomonitoreos han encontrado acumulación de metales en macroalgas, mejillones y sedimentos bentónicos alrededor de emisarios de plantas desalinizadoras (Roberts y otros, 2010).

Los metales se pueden clasificar como biológicamente esenciales y no esenciales. Metales como aluminio (Al), cadmio (Cd), mercurio (Hg), el estaño (Sn) y el plomo (Pb) no tienen registros de funciones en la actividad biológica específica y por lo tanto sus toxicidades aumentan con una alta concentración. Mientras que los metales esenciales (Cr, Zn, Ni, Cu, Co, Fe) poseen funciones biológicas y su toxicidad ocurre en respuesta de su deficiencia o concentración excesiva (Taslina y otros, 2022).

De acuerdo con una reciente revisión, la contaminación por metales pesados dificulta significativamente el rendimiento reproductivo de los peces, lo que se traduce en Índices Gonadosomáticos (GSI) reducidos, menor fecundidad y tasa de eclosión, forma anormal de los órganos reproductivos, entre otros. Además, los metales pesados afectan gravemente el desarrollo embrionario y larvario de peces, generando aumento de la frecuencia cardíaca, reducción de la actividad cardíaca, aumento de la tasa de mortalidad, deformaciones de la columna vertebral, problemas de orientación y nado, en diferentes etapas de desarrollo de embrión (Taslina y otros, 2022).

Cabe destacar que los metales pesados son acumulados en los sedimentos marinos, por lo que esta matriz representa un importante reservorio de este tipo de elementos, los que eventualmente pueden retornar a la columna de agua por procesos de difusión y mezcla, actividad de los organismos bentónicos y resuspensión (Meyerson, 1981). Sumado a esto, los metales pesados se acumulan en los tejidos de los organismos acuáticos a lo largo de diferentes cadenas alimentarias acuáticas donde pueden concentrarse (Acosta y otros, 2002) y resultar en riesgos sustanciales para la salud humana al consumir estos alimentos acuáticos contaminados. Para el monitoreo del efecto potencial de los metales pesados del sedimento, debería utilizarse una metodología como la DGT (diffusive gradients in thin-film technique) ya que permite determinar la concentración efectiva de los metales, que representa lo que sería experimentado por los organismos que viven en los sedimentos bajo el peor caso posible (Lee y otros, 2002).

En el proceso de pretratamiento de las membranas de la osmosis reversa también pueden formarse subproductos tales como el cloroformo, bromoformo y otros fenoles que pueden ser perjudiciales para la vida acuática. El bromoformo puede generar efectos crónicos en larvas de ostra, a concentraciones de 50 mg L^{-1} . Los ácidos haloacéticos también son tóxicos para especies acuáticas macrófitas y fitoplancton en concentraciones relativamente bajas (por ejemplo, ácido monocloroacético y ácido monobromoacético inhiben el crecimiento de algas verdes *Scenedesmus subspicatus* en concentraciones de 7 mg L^{-1} y 20 mg L^{-1} , respectivamente (Kühn y Pattard, 1990; Gude, 2016).

3. Efectos sobre el paisaje costero y otras actividades humanas

Las plantas desalinizadoras abarcan lo que se denomina la "Zona costera" (véase recuadro 2), ya que utilizan parte de la plataforma costera para la instalación de los inmisarios y emisarios, así como la playa y el área adyacente para la ubicación de la planta propiamente tal y los ductos de transporte del agua producida. Esto significa que la instalación de una de estas plantas generará impactos sobre los diversos ecosistemas que componen esta zona costera, pero además sobre el componente cultural y social del lugar. Es así como se habla del paisaje costero, entendiendo que este concepto abarca sistemas ecológicos tangibles y bien definidos en el espacio y tiempo, con entidades naturales y culturales estrechamente entrelazadas (Naveh, 2010). En este paisaje costero pueden encontrarse diversos tipos de ecosistemas, tales como humedales, dunas, playas rocosas, intermareal, bosques de Macroalgas, bancos de bivalvos, entre otros, que poseen características físicoquímicas, geográficas y biológicas propias, así como servicios ecosistémicos fundamentales para sostener el equilibrio ecológico y aportar bienestar a los seres humanos. La costa es por tanto un sistema complejo formado por la interacción de diversas comunidades de organismos con su ambiente y puede ser alterado por procesos y eventos naturales (ej. tormentas, El Niño, marea roja) o antropogénicas (Nichols y otros, 2019). Es así como cualquier cambio en el paisaje costero influirá directamente en la distribución espacial de los valores del ecosistema e indirectamente en los procesos ecológicos del paisaje modificado (Hao y otros, 2017). Además de las actividades humanas directas, la zona costera es uno de los paisajes más frágiles frente al cambio climático, particularmente frente al aumento del nivel del mar, la erosión y los eventos meteorológicos de gran intensidad. Todos estos factores deben ser considerados al momento de planificar la instalación de una planta desalinizadora, ya que se ve afectado tanto el paisaje costero presente, como el que existirá en los futuros escenarios del cambio climático.

Debido a la complejidad de la zona costera y a las múltiples actividades que en ella confluyen, se han propuesto algunas medidas de protección para prevenir los impactos negativos sobre la biodiversidad y el ecosistema de esta zona. En Chile existen actualmente las Áreas Marinas Protegidas (AMP) que consisten en áreas delimitadas y definidas geográficamente, cuya administración y regulación permiten alcanzar objetivos específicos de conservación y/o preservación⁶. Existen cuatro tipos de AMPs: Parques marinos, Reservas marinas, Santuarios de la Naturaleza y Áreas Marinas Costeras protegidas de múltiples usos (AMCP-MU), las que se diferencian en el nivel de protección y la compatibilidad de usos. Además de estos instrumentos de conservación, existen las Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos (AMERB) que asigna derechos de explotación exclusiva a organizaciones de pescadores artesanales, mediante un plan de manejo y explotación basado en la conservación de los recursos bentónicos presentes en sectores geográficos previamente delimitados⁷. De acuerdo con Gelcich y colaboradores (2019), estas AMERBs tienen el potencial de sustentar la biodiversidad y todas las diferentes tipologías de servicios de los ecosistemas cuando se aplican adecuadamente, sin embargo, se hace hincapié en que la sola existencia de la política de AMERB no garantiza la prestación sustentable de servicios ecosistémicos. Cabe destacar que estas medidas se aplican a la zona de la costa que abarca desde la más alta marea hacia mas adentro, por lo que no se integra la zona costera propiamente tal (parte terrestre y marina). Esto es relevante al momento de evaluar actividades productivas que se desarrollan en esta zona de transición, tales como las plantas desalinizadoras.

Existen, además, algunos convenios internacionales relacionados con la protección de la costa, tales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica (1992), Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional (RAMSAR) (1981), Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (1982), entre otros. Sin embargo, es preocupante la falta de una política nacional de protección de la costa y el océano, así como la falta de un apropiado ordenamiento territorial que permita la Planificación de cada una de las actividades productivas que se realizan en la costa.

Recuadro 3 Ejemplo de zona costera donde confluye la importancia ecológica y las actividades humanas

Una de las principales zonas de surgencia del norte de Chile, se encuentra ubicado en Punta Angamos cerca de la Bahía de Mejillones (al norte de Antofagasta), siendo por ello una de las zonas más productivas del norte (Laudien y otros, 2007). La surgencia ocurre durante todo el año con una intensidad máxima en octubre y mínima en enero y la alta producción primaria que genera, se refleja en una mayor producción secundaria bentónica, que es 4,5 veces mayor en la franja costera (0-20 m de profundidad) en comparación con una profundidad de 20-60 m. A mayores profundidades disminuye la biomasa de invertebrados, por lo que solo en la zona muy cercana a la costa se realiza una activa pesca artesanal de invertebrados bentónicos (ej. cholgas, erizos, jaibas, locos, ostiones, entre otros) (Laudien y otros, 2007). Producto de sus características geográficas y de circulación, esta Bahía se transforma, además, en un importante centro de retención de larvas de peces, durante los eventos de surgencia intensa (Rojas y Landaeta, 2014). De esta forma, la Bahía protege a larvas de sardinas, anchovetas y otros peces, de las corrientes que podrían transportarlas mar adentro donde tienen mayores probabilidades de morir.

Todas estas características han convertido a esta Bahía y la zona costera adyacente, en un importante centro de diversidad y abundancia de especies marinas (grandes colonias de lobos marinos, delfines, aves marinas, ballenas y tortugas), por lo que ha sido considerado como un sitio prioritario para la conservación marina, siendo actualmente una de las Áreas Marinas Costeras Protegidas de múltiples Usos (AMCP-MU), más grande del país (Ulloa y otros, 2013). Entre los principales objetos de conservación de esta área protegida se encuentra el Pingüino de Humboldt (*Spheniscus humboldti*), Piquero común (*Sula variegata*), Gaviotín chico (*Sternula lorata*), cetáceos como el Rorcual común (*Balaenoptera physalus*), Ballena jorobada (*Megaptera novaeangliae*) y la Marsopa espinosa (*Phocoena spini*), así como el chungungo (*Lontra felina*). Además, ésta Bahía se encuentra dentro del Área Ecológica o Biológicamente significativa (Ecologically or Biologically Significant Areas (EBSA)) "Sistema de surgencia de la corriente de Humboldt en el norte de Chile", ya que cumple con los criterios elaborados por expertos internacionales para escoger estas áreas (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2020), entre los que destaca la alta productividad, importancia para especies amenazadas, en peligro o en declive, así como la vulnerabilidad, fragilidad, sensibilidad o lenta recuperación (véase mapa e imagen).

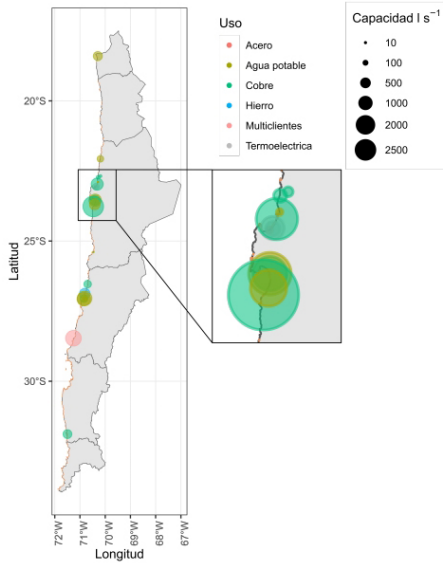
⁶ En línea: <https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-propertyvalue-50832.html> [revisado el 20-01-2023].

⁷ En línea: <https://www.subpesca.cl/portal/616/w3-propertyvalue-50830.html>.

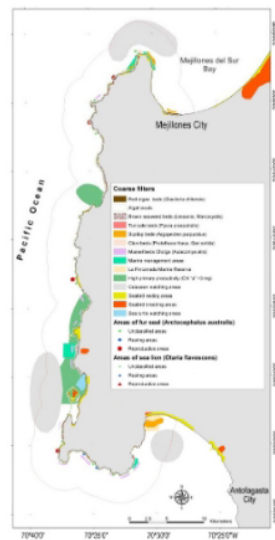
A pesar de todas estas características, esta zona costera del norte de Chile presenta una importante confluencia de actividades antropogénicas, localizadas al norte de la Bahía, y entre las que destacan empresas termoelectricas, pesqueras, mineras, puertos, así como pesca extractiva y el turismo. A esto se suman las plantas desalinizadoras y SIAM ubicadas tanto dentro de la Bahía de Mejillones, como al norte y sur de la península, que la convierte actualmente en uno de los hotspot para estas industrias en Chile (García-Bartolomé y otros, 2022). Esto representa un claro ejemplo de una zona costera con múltiples usos y con falta de planificación.

Mapa
Confluencia de desalinizadoras y áreas de relevancia ecológica en la Bahía Mejillones, región de Antofagasta

A. Ubicación de las plantas desalinizadoras operando en el norte de Chile con sus volúmenes de captación de agua



B. Distribución espacial de los filtros gruesos de conservación en el AMPC-MU de Bahía Mejillones



C. Áreas ecológica o biológicamente significativas (EBSA) frente a las costas



Fuente: Elaboración propia, Ulloa y otros, <https://www.cbd.int/ebsa/>.

Imagen**Especies marinas que habitan la costa de Mejillones**

A. Pingüino de Humboldt



B. Ballena jorobada



Fuente: Fotografía pingüinos por Luisa Saavedra; fotografía de ballena extraída de <https://regionalista.cl/galeria-delfines-y-ballenas-ofrecen-espectaculoen-mejillones/>.

Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes recopilados.

La construcción de grandes plantas desalinizadoras involucra además varias inconveniencias para las comunidades locales, incluido el cierre de lugares recreacionales, transporte local, contaminación acústica y atmosférica, depreciación estética, tráfico de entrada y salida para el transporte de materiales, entre otros. Otra fuente de conflicto socioambiental de las plantas desalinizadoras es que el agua producida es considerada como un *commodity* que puede generar impactos positivos y negativos en el estatus socioeconómico de una región o país. Los costos del agua desalinizada pueden ser asequibles para el propósito turístico, sin embargo, pueden no ser aceptables para el suministro de agua potable en muchas regiones, porque el acceso de agua limpia es un derecho humano y esto puede considerarse como una injusticia social y derivar en conflictos por estas disyuntivas (Gude, 2016).

IV. Medidas de mitigación de los impactos ambientales de las plantas desalinizadoras

La creciente demanda por agua dulce ya sea para su uso en la industria o para el consumo humano, hace necesario la optimización del diseño de las instalaciones de desalinización de agua de mar para proporcionar una fuente confiable y constante de agua dulce sin un impacto significativo en el medio ambiente (Le Roux, 2010). Según la experiencia internacional, en España y Australia, los impactos negativos en el medio marino de la descarga de salmuera de las plantas desalinizadoras pueden mitigarse de manera eficiente (de-la-Ossa-Carretero y otros, 2016; Clark y otros, 2018; Del-Pilar-Ruso y otros, 2015; Fernández-Torquemada y otros, 2013; Petersen y otros, 2018).

Le Quesne y otros (2021), presenta nuevos análisis y evalúa si el desarrollo de la desalinización es compatible con la sostenibilidad, describe varias líneas de actividades interconectadas, para abordar el impacto de la desalinización: i) conciencia y cambio de comportamiento; ii) desarrollo de regulaciones; iii) medidas tecnológicas de mitigación; e iv) investigación. Roberts y otros (2010) resalta la diferencia entre la cantidad de artículos publicados sobre tecnologías de desalinización, en comparación al relativamente pequeño número de estudios que cuantifican los impactos ambientales de la descarga de salmuera in situ o en experimentos de laboratorio. Aunque el número de publicaciones sobre impactos ambientales ha ido aumentando en los últimos años, todavía existe una gran brecha entre las dos perspectivas, lo que refleja la alta inversión en tecnologías y la demora en fondos y regulaciones para la investigación y los estudios de impacto ambiental (Belkin y otros, 2018).

Recuadro 4

Ejemplo de buenas prácticas: planta desalinizadora de Perth, Australia

Esta planta desalinizadora perteneciente a la Corporación del Agua se encuentra ubicada en Kwinana, al oeste de Australia, y tiene una capacidad diaria de $140.000 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$, cubriendo el 17% de las necesidades de agua de Perth, lo que la convierte en la más grande de su tipo en el hemisferio sur y la más grande del mundo en ser alimentada por energía renovable. Esta planta fue construida el año 2006 para resolver los graves problemas de sequía por los que atravesaba la región. Consiste en una planta de osmosis reversa que incorpora innovaciones tecnológicas, tales como recuperadores de energía que poseen una eficiencia de 96%. La fuente de energía requerida por la planta (24 MW)

proviene de una granja de aeradores (83 MW) que suministra 272 Gwh año⁻¹ a la red (Guguin y Carel, 2011). Debido a que se ubicó en un área de alta sensibilidad ambiental (Cockburn Sound), se debió implementar estrategias de minimización de los impactos ambientales, tales como un sistema de dispersión de la salmuera que consiste en un ducto de 500 m costa adentro, con múltiples puertos espaciados en los últimos 200 m del ducto, así como un sistema de captación de agua de bajo flujo. Además, se realizan monitoreos continuos y en tiempo real de la calidad del agua que entra y sale de la planta, así como monitoreos marinos de rutina en varias localidades de Cockburn Sound. De esta forma, se puede determinar si existe una disminución del oxígeno disuelto en el fondo de la columna del agua, ya que la planta debe apagarse a 1/6 de su capacidad cuando estos niveles caen bajo ciertos niveles prescritos. Es así como esta planta posee una de las descargas de salmuera más monitoreada del mundo y ha operado en estos años sin ninguna alarma ambiental, lo que puede ser considerado como un informe alentador para la industria de la desalinización (Gude, 2016). Uno de los factores claves de este caso, es que la Corporación del agua trabaja en conjunto con el Consejo de gestión de Cockburn Sound, apoyando sus requerimientos de monitoreo ambiental y reportes anuales. Además, es miembro del programa "Ozfish Seeds for Snapper" que es uno de los principales proyectos de restauración de pastos marinos de Australia^a.

Fuente: Elaboración propia a partir de antecedentes recopilados.

^a En línea: <https://www.watercorporation.com.au/Our-water/Desalination/Perth-Seawater-Desalination-Plant>.

A. Mitigación del consumo energético y huella de carbono

Uno de los principales problemas de las plantas desalinizadoras es que requieren un alto consumo energético, lo que se traduce en mayores costos y en producción de gases de efecto invernadero cuando se utilizan combustibles fósiles como fuentes de energía. Por lo tanto, se están generando esfuerzos para combinar las **energías renovables y la desalinización**, lo que se ha denominado "**Desalinización renovable**" y se espera que sus beneficios para el mundo sean i) una mayor sustentabilidad ambiental, ii) sustentabilidad futura para abastecimiento de agua dulce y iii) sostenibilidad energética (Shahzad y otros, 2017). Por otra parte, se puede reducir el consumo energético de las plantas de Osmosis reversa mediante la mejora de las propiedades de las membranas y/o un sistema de recuperación de energía adicional, que se utiliza comúnmente para recuperar la energía hidráulica y transferirla al sistema de alimentación (Do Thi y otros, 2021).

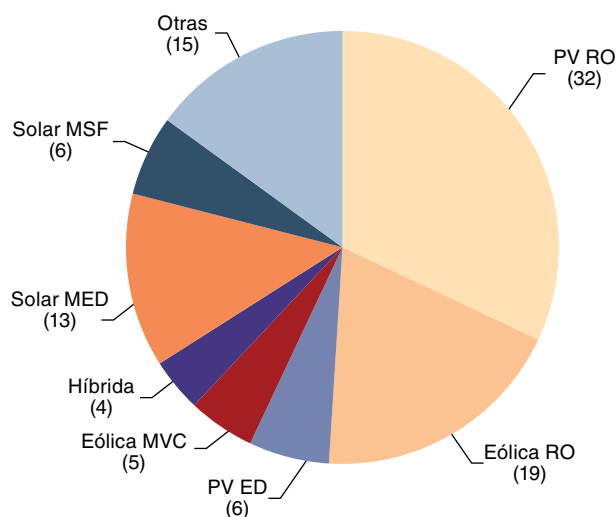
En vista de la necesidad de aumentar la sustentabilidad de la tecnología de desalinización, la International Desalination Association (IDA), creó en el año 2015, la **Alianza Global de Desalinización de Agua Limpia (GCWDA)**– "H₂O menos CO₂", que tiene como objetivo que para entre los años 2020 y 2025, el 20 % de las nuevas plantas de desalinización funcionen con energías renovables. Esta alianza reúne a partes interesadas clave de las industrias de energía y desalinización, servicios públicos de agua, gobiernos, instituciones financieras, academia e I+D con el objetivo de reducir las emisiones de CO₂ de las plantas de desalinización de agua existentes y ampliar el uso de tecnologías de desalinización limpias a través de acciones coordinadas. Para lograr este objetivo lidera la implementación de actividades que pretenden:

- Energizar nuevas plantas de desalinización de agua con fuentes de energía limpia.
- Reemplazar las fuentes de energía basadas en combustibles fósiles de las plantas de desalinización de agua existentes con fuentes de energía limpia.
- Adaptar las plantas de desalinización de agua existentes con tecnologías más eficientes energéticamente.
- Atraer inversiones en el sector de la desalinización de agua con fines de reducción de emisiones de CO₂.

Entre sus miembros se encuentra el Ministerio de Energía de Chile, como único miembro de los países de Latinoamérica y el Caribe⁸.

Entre las tecnologías renovables, la energía solar es la más utilizada en el mundo debido a su libre acceso. Las principales formas de utilizar la energía solar directamente son, mediante la conversión de la energía solar en calor (fototérmica) o en electricidad (fotovoltaica (PV)/celdas solares) utilizando un dispositivo (colector, celdas solares). En el gráfico 6 se aprecia que una de las fuentes de energía renovables más utilizada para abastecer de energía a las plantas desalinizadoras de osmosis reversa, es la fotovoltaica (PV-RO) (Do Thi y otros, 2021).

Gráfico 6
Distribución de tecnologías que combinan desalinización con energías renovables en el mundo, 2017
(En porcentajes)



Fuente: Figura extraída de Do Thi y otros 2021. Comparison of Desalination Technologies Using Renewable Energy Sources with Life Cycle, PESTLE, and Multi-Criteria Decision Analyses. *Water* 2021, 13, 3023.

En este sentido, se ha estimado que para operar una planta desalinizadora de 1 m³/día de capacidad (con un consumo energético específico total de 8 kWh/m³), la instalación fotovoltaica requiere un área de 26,5 a 28 m² basada en una generación eléctrica de 110–120 kWh/m² por año. Este tipo de plantas tienen ventajas de funcionamiento continuo si se integran con una red de plantas de cogeneración, ya que la energía fotovoltaica puede suministrar energía a esta red durante el día y en la noche la planta desalinizadora operará aprovechando la energía de la red (Shahzad y otros, 2017).

Sin embargo, el principal cuello de botella en el uso de fuentes de energía renovable es la naturaleza intermitente de los suministros, especialmente la eólica y la solar, por lo que las plantas desalinizadoras aún necesitan de fuentes convencionales de energía durante la noche o cuando los vientos son leves. Es relevante contar con almacenamientos de energía en la configuración de las plantas desalinizadoras renovables. En el caso de la electricidad generada por viento y fotovoltaica, éstas deben ser almacenadas en baterías para su posterior uso por la desalinizadora de osmosis reversa. Una solución que se está proponiendo para este problema, surge desde la producción de Hidrógeno Verde (HV), que permite almacenar energía desde las fuentes renovables. La mayor parte del hidrógeno se genera mediante electrólisis, proceso que requiere 15 kg de agua para producir 1kg de hidrógeno, el cual solo puede considerarse hidrógeno "verde" si el proceso utiliza fuentes de energías renovables⁹, por lo que la combinación de instalaciones

⁸ En línea: <https://jppb51.wixsite.com/gcwaldalliance/members>.

⁹ En línea: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/hidrogeno-verde-podria-impulsar-desalinizacion-y-tratamiento-de-aguas-residuales>.

de producción de hidrógeno con proyectos de desalinización podría servir como valor añadido para asegurar la financiación necesaria para construir proyectos de HV y como incentivo para gobiernos y corporaciones para desarrollar plantas desalinizadoras¹⁰.

Cabe destacar que actualmente Chile se propone liderar, junto a Australia, el mercado emergente de HV, impulsado por sus notables recursos renovables y la proximidad a las grandes economías asiáticas que consumen hidrógeno. Chile tiene potencial para superar los 1.800GW de capacidad renovable, 0,70 veces la demanda actual del país, por lo que el hidrógeno podría permitirle exportar su exceso de producción. El gobierno espera que el país pueda producir parte del hidrógeno verde más barato del mundo durante los próximos 30 años y hasta 160 megatonnes anuales del combustible¹¹. Considerando la dependencia de fuentes de agua para la producción de este HV y que las principales zonas de producción de energía renovable (especialmente fotovoltaica), se encuentran en el norte de Chile (una de las zonas más secas del mundo), se podría generar un aumento de instalaciones de desalinización en la costa del país, lo que debería ser adecuadamente estudiado y planificado para asegurar su sostenibilidad socioambiental.

B. Toma de agua de mar

Las tomas de agua abiertas son usadas por la mayoría de las plantas desalinizadoras, debido a los altos volúmenes de agua que utilizan, por el contrario, los sistemas de captación subterráneos (cerrados), tales como pozos inclinados o galerías filtrantes, se utilizan generalmente para sistemas de desalinización de menor capacidad. Williams (2018) plantea algunas ventajas del uso de tomas subterráneas por sobre el uso de tomas abiertas: i) no afectan a la vida marina, no producen atrapamiento ni arrastre; ii) no afectan el hábitat ribereño, los humedales o los recursos de agua subterránea; iii) la necesidad de pretratamiento se reduce significativamente o se elimina, ya que los sólidos disueltos suelen disminuir; iv) sin impacto de construcción en el océano; v) pueden enterrarse completamente de modo que no hayan estructuras visibles en la superficie del terreno. Las estructuras subterráneas no son universalmente usadas ya que son específicas para cada sitio, además de ser una tecnología relativamente nueva, actualmente las tomas subterráneas son usadas en plantas desalinizadoras en Estados Unidos y Japón.

El atrapamiento y arrastre son los principales impactos de las tomas de agua abiertas, estos se pueden minimizar si se toman medidas adecuadas (véase cuadro 6) tales como: un diseño de entrada abierta prudente; la instalación de la estructura de bocatoma fuera de la zona litoral y lejos de áreas muy productivas; mantener la velocidad del agua en la toma bajo los 0.15 m/s, usar aberturas de malla de tamaño pequeño; tener un caudal mínimo de entrada (Lattemann y Höpner, 2008; Missimer y otros, 2015; Voutchkov, 2011a).

Cuadro 6
Potenciales tecnologías de reducción de arrastre y atrapamiento (A y A) en tomas de agua abierta

Tipo de medidas de reducción de A y A	¿Cómo funcionan?	Tecnologías	Potencial de reducción de impacto	
			Atrapamiento	Arrastre
Barreras Físicas	Bloquea el paso de peces y reduce la velocidad de entrada	<ul style="list-style-type: none"> • Mallas de alambre en cuña • Pantallas de malla fina • Sistemas de Micro tamizado • Redes de barrera • Barreras de filtros acuáticos 	Sí	Sí

¹⁰ En línea: <https://elperiodicodelaenergia.com/como-el-hidrogeno-verde-podria-aliviar-la-escasez-mundial-de-agua/>.

¹¹ En línea: <https://www.bnamericas.com/es/noticias/ronda-de-financiamiento-de-hidrogeno-verde-en-chile-recibe-10-ofertas>.

Tipo de medidas de reducción de A y A	¿Cómo funcionan?	Tecnologías	Potencial de reducción de impacto	
			Atrapamiento	Arrastre
Sistemas de colección y devolución	El equipo se instala en tamices finos para la recolección de Peces y su retorno al mar	<ul style="list-style-type: none"> • Mallas móviles modificadas (Ristroph) • Finas mallas móviles 	Sí	No
Sistemas de Desviación	Dispositivos que desvían los peces de las pantallas y los dirigen de regreso al océano	<ul style="list-style-type: none"> • Pantallas en ángulo con persianas • Mallas inclinadas 	Sí	Sí
Dispositivos de disuasión conductual	Rechazar los organismos de la entrada mediante la introducción de cambios que los alerten	<ul style="list-style-type: none"> • Límites de velocidad • Barreras Acústicas • Luces estroboscópicas • Cortinas de burbujas de aire 	Sí	No

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Voutchkov (2011a).

Missimer y Maliva (2018) describen la repoblación de las especies más preocupantes como método de mitigación, este método no se emplea comúnmente, y se basa en la estimación de la pérdida de peso seco del ictioplancton marino y evalúan los costos de mitigación a partir de esta estimación. El costo de este método podría ser mucho menor que el de los otros métodos y tal vez podría brindar un mayor grado de certeza en el proceso de mitigación.

C. Descarga de salmuera

La salmuera es producto del proceso de desalinización, contiene un alto porcentaje de sales y minerales disueltos, y es usualmente descargada directamente al mar. Esta descarga es una fuente potencial de impacto en los ecosistemas marinos, probablemente afecte la calidad del agua local y la salud ambiental, especialmente de las comunidades marinas bentónicas y cercanas al fondo (Jones, 2015). Sin embargo, debe enfatizarse que los impactos asociados a la descarga son manejables (Pistocchi y otros, 2020), pero la gestión de la descarga de salmuera es económicamente costosa y técnicamente difícil y, por lo tanto, la mayoría de las plantas de desalinización descargan salmuera sin tratar directamente al medio marino (Jones y otros, 2019). Fernández-Torquemada (2012) en su tesis doctoral resume las recomendaciones para una adecuada descarga de salmuera: i) maximizar la dilución inicial de la descarga; ii) optimizar la mezcla de la descarga; iii) seleccionar una correcta ubicación de la descarga; iv) realizar programas de vigilancia ambiental adecuados; y v) conocimiento de la tolerancia a la salinidad de las especies próximas a la descarga.

1. Maximizar la dilución inicial de la descarga

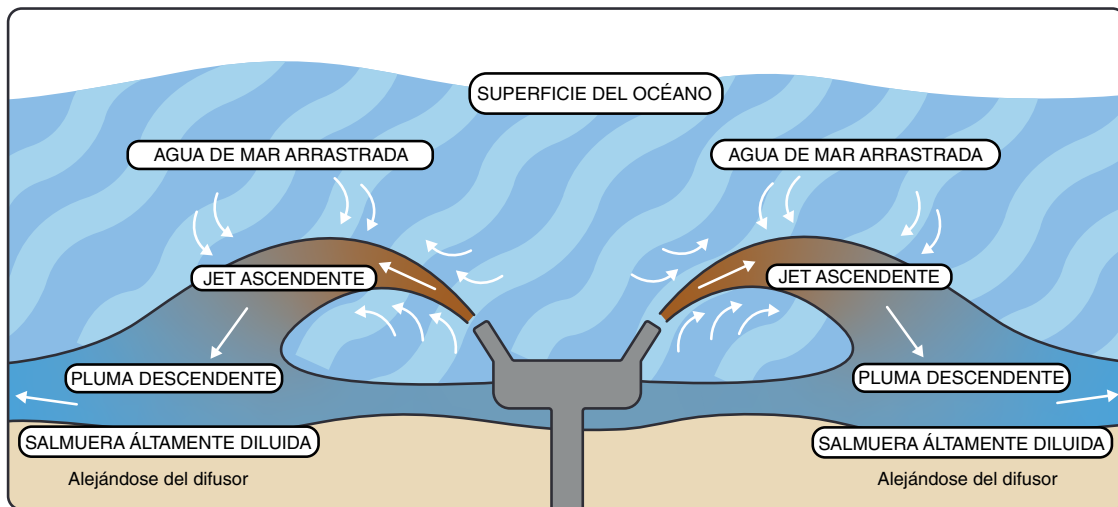
Reducir la concentración de sales es la principal forma de reducir el impacto de la descarga. La dilución rápida de la descarga de salmuera hipersalina definitivamente debería ayudar a minimizar cualquier impacto en las comunidades bentónicas en las áreas circundantes (Raventos y otros, 2006). Estos esfuerzos cubren una gama de técnicas con niveles variables de complejidad y costo. La salinidad y otros contaminantes presentes en la salmuera pueden reducirse significativamente si los vertidos de las plantas desalinizadoras se diluyen previamente con fuentes alternativas de agua de menor salinidad, por ejemplo, con aguas residuales tratadas, los vertidos de agua de refrigeración de las centrales eléctricas o el agua de mar (Giwa y otros, 2017; Shrivastava y Adams, 2021; Voutchkov, 2009). Fernández-Torquemada y otros (2013), demostraron la capacidad de recuperación de los ecosistemas marinos de la zona de descarga si la salmuera es diluida, detectando un rápido aumento en las densidades de equinodermos en las praderas de pastos marinos una vez que se diluyó la descarga de salmuera. Si este mecanismo de

dilución es empleado, se recomienda diseñar las desalinizadoras con una mayor capacidad de dilución que la indicada por los modelos de dispersión, aplicando el principio de precaución, ya que estos modelos no siempre son correctos (Fernández-Torquemada, 2012).

2. Optimizar la mezcla de la descarga

La mezcla y dispersión de la pluma de descarga se puede mejorar de dos maneras, descargando en un sitio oceanográfico favorable y/o utilizando difusores (Fernández-Torquemada, 2012; Lattemann y Höpner, 2008). Un sitio oceanográfico favorable puede ser un área muy hidrodinámica, ya que el oleaje y las corrientes pueden actuar dinámicamente incrementando la mezcla inicial del efluente y por lo tanto su dispersión. La utilización de varios difusores en vez de un único punto de vertido también puede mejorar la mezcla inicial, facilitando la mezcla del efluente, reduciendo su salinidad y área de dispersión (Loya-Fernández y otros, 2012). Los difusores son esencialmente una serie de boquillas que aumentan la mezcla de concentrado dentro de la columna de agua de mar y evitan la acumulación en el fondo marino (Missimer y Maliva, 2018). El diagrama 7 ilustra el funcionamiento de los difusores, la dilución dependerá de la orientación del chorro lanzado por los difusores, siendo mayor en cuanto más amplio sea su recorrido, lo que se consigue con un ángulo de entre 30 y 60° (Bleninger y Jirka, 2008; Fernández-Torquemada, 2012).

Diagrama 7
Esquema del sistema de difusores del emisario submarino



Fuente: elaboración propia sobre la base de Clark y otros (2018). First large-scale ecological impact study of desalination outfall reveals trade-offs in effects of hypersalinity and hydrodynamics. *Water Research*, 145, 757–768.

Se ha estudiado el uso de difusores como medida de mitigación, Del-Pilar-Ruso y otros (2015), no detectaron diferencias en comunidades de poliqueos, cuando se compararon los períodos previos a la instalación de la planta desalinizadora y el período posterior a la implementación de las medidas de mitigación (difusores). Para el uso de difusores, se debe considerar ciertos límites de velocidad de descarga, si bien su uso alcanza niveles de salinidad que no dañan a los invertebrados sésiles, la velocidad de descarga lograda por los difusores de alta presión, aumentan el flujo cercano hasta el punto de que puede afectar el asentamiento, el crecimiento y la supervivencia de los invertebrados (Clark y otros, 2018).

3. Seleccionar una correcta ubicación de la descarga

El sitio en el que se construirá la planta de desalinización debe cumplir con ciertos criterios y requisitos establecidos por las distintas partes interesadas (Tsiourtis, 2008). Fernández-Torquemada (2012) recomienda realizar la descarga preferentemente en zonas artificiales (puertos, canales, etc.) o zonas

previamente degradadas, evitando áreas con comunidades de alto valor ambiental o potencialmente sensibles a incrementos de salinidad, siendo preferible que la descarga afecte a fondos de arena carentes de vegetación. Dentro de los principales desafíos asociados a la selección de una correcta ubicación de descarga están: encontrar un área libre de especies en peligro de extinción y hábitats marinos estresados; identificar un lugar con fuertes corrientes oceánicas que permita la disipación rápida y efectiva de la descarga de salmuera; evitar áreas con tráfico frecuente de embarcaciones navales que podrían dañar la instalación del emisario y cambiar los patrones de mezcla; e identificar un lugar de descarga en aguas relativamente poco profundas, que al mismo tiempo esté cerca de la costa, para minimizar los gastos de construcción del emisario (Voutchkov, 2011b).

Mediante un Análisis Multicriterio basado en SIG, un reciente estudio realizado en Chile determinó que de un total de 114,45 km² de costa analizados, solo 4,54% del territorio era altamente apropiado para la instalación de plantas desalinizadoras, siguiendo criterios internacionales (García-Bartolomei y otros, 2022). Lo que demuestra la escasez de espacio disponible para cumplir con las expectativas de crecimiento de la industria y que cumplan con los criterios de sostenibilidad ambiental. Entre los criterios utilizados para determinar este espacio, se encuentran aquellos que mejoran la idoneidad de una alternativa específica para la actividad en consideración (factores), y aquellos que se refieren a las limitaciones de espacialidad (condicionantes). En base a esto, se establecieron seis factores: altitud, distancia a la línea de costa, grado de la pendiente del terreno, distancia a los asentamientos poblados, distancia a las líneas de suministro eléctrico y distancia a la red vial. Mientras que, se fijaron cuatro condicionantes: áreas de conservación con un área de amortiguamiento de 3000 m, comunidades indígenas con un área de amortiguamiento de 1000 m, altitud y grado de pendiente del terreno. Los últimos dos podían tener características de factores y condicionantes. Para evaluar la preferencia entre los criterios tipo de factor, se utilizó una metodología de análisis de proceso jerárquico (AHP) (García-Bartolomei y otros, 2022).

4. Realizar programas de vigilancia ambiental adecuados

En el caso de los vertidos de desalinizadoras, resulta importante establecer un correcto programa de vigilancia ambiental con base científica para corregir los posibles impactos ambientales que se detecten durante su funcionamiento, se debe partir de estudios preoperacionales en los que se estime un estado inicial del sistema antes de que la actividad haya comenzado (Fernández-Torquemada, 2012). Los planes de monitoreo ambiental (PMA) aseguran la eficacia de las medidas preventivas y correctoras establecidas en los DIA o EIA para proteger los ambientes marinos (Sadhvani Alonso y Melián-Martel, 2018). Un programa de vigilancia ambiental efectivo implica la identificación y seguimiento de determinadas especies bioindicadoras. Estas especies deben ser sedentarias, ya que especies móviles no reflejan necesariamente las condiciones locales, de relevancia ecológica, con una amplia distribución, extensamente estudiadas y particularmente sensibles a las variaciones ambientales. La selección de un bioindicador debe adaptarse a las condiciones locales, aunque son preferibles bioindicadores con amplios rangos de distribución (Fernández-Torquemada, 2012).

En el caso de Chile, Sola y otros (2019) hacen una evaluación de los requerimientos dentro de los PMA utilizados para evaluar los impactos ambientales de las plantas desalinizadoras, este estudio reveló una alta heterogeneidad entre proyectos e indica que se necesita el mejoramiento y actualización de acuerdo con evidencia científica sólida. Es necesaria una revisión de los PMA para incluir todos los requisitos relevantes cuando están ausentes y eliminar los descriptores irrelevantes que no están relacionados con una mejor protección de los ecosistemas marinos, se debe tener especial consideración con los PMA para plantas con alta producción de agua, que son las que tienen más probabilidades de inducir impactos ambientales.

Asimismo, es necesario un método de registro o equipo de medición que pueda constatar en forma remota la velocidad de succión, y de esta forma, poder verificar el cumplimiento de dicho compromiso ambiental. Se recomienda que dicho instrumento de medición se instale al menos a 80 mm antes de la entrada de cada torre de captación en posición paralela al flujo del agua.

5. Conocimiento de la tolerancia a la salinidad de las especies próximas a la descarga

Fernández-Torquemada (2012) destaca la importancia de conocer la tolerancia de las comunidades u organismos ante los incrementos de salinidad, y si no existiese información al respecto, realizar los estudios necesarios. Sobre todo, en especies estructurales, de las que dependen el resto de las especies de la comunidad. Hoy en día existe una necesidad urgente de estudios más completos sobre los impactos ecológicos de las plantas desalinizadoras (Clark y otros, 2018) y sobre la tolerancia a la salinidad en la literatura científica.

D. Otras medidas de mitigación

Durante el proceso de extracción de agua de mar, se producen muchos minerales como subproducto de la salmuera, tales como Na, Ca, Mg y K, los que, al ser utilizados económicamente, podrían disminuir en cierta medida, los costos de la producción del agua desalinizada, así como los problemas de contaminación asociados con la eliminación de salmuera. Esto es especialmente relevante, tomando en cuenta la disminución del costo del agua desalinizada en los últimos años (desde US\$10/m³ hace 50 años, a US\$0,5 en 2010 para una planta grande), así como el crecimiento de la producción de agua desalinizada en los últimos años, lo que conlleva al aumento de la rentabilidad de la extracción de los minerales de la salmuera. Un ejemplo de ello es que se ha estimado que el valor de mercado de Na, Ca, Mg y K, si se extraen con éxito de la salmuera rechazada de una planta desalinizadora en Arabia Saudita, podría llegar a ser aproximadamente \$US 18 mil millones por año (Loganathan y otros, 2017). Actualmente existe cada vez mayor demanda por el uso de minerales que pueden ser extraídos rentablemente de la salmuera tanto para el uso en la agricultura, industria, remediación ambiental y medicina (Loganathan y otros, 2017).

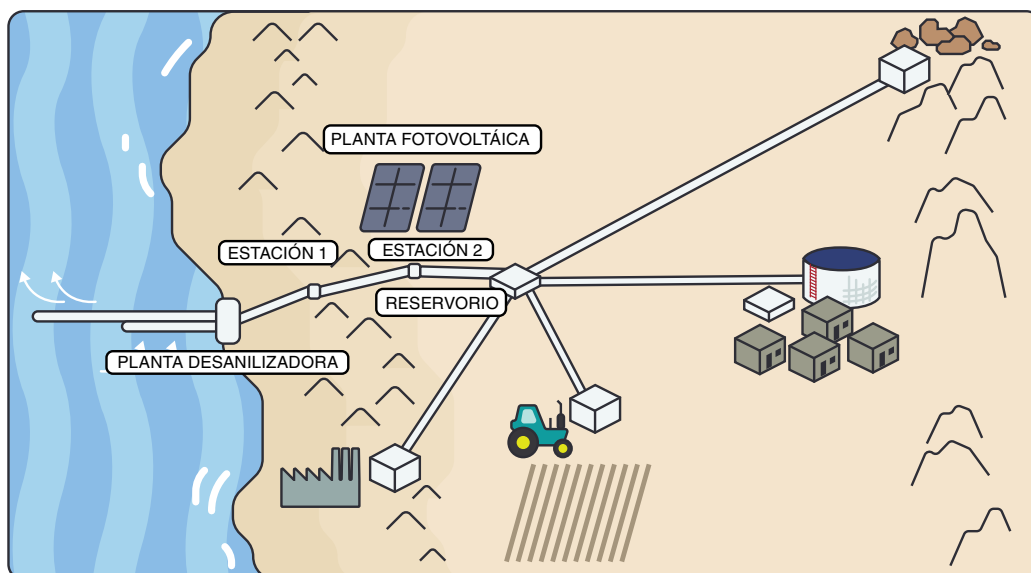
Otro problema relevante de la desalinización, es el alto costo para generar agua, lo que conlleva a que generalmente solo los grandes consumidores de agua, como las mineras y sanitarias, pueden costear la inversión, por lo que una medida de mitigación de estos costos podría ser la generación de una matriz unificada, como en el caso de Israel, donde una empresa se hace cargo de la inversión pero el agua que se genera se distribuye hacia otras actividades que requieren agua, como la agricultura y las comunidades locales. Otra alternativa es el caso de España, con una mirada sistémica reflejada en **plantas Multipropósito** (véase diagrama 8), que tiene como objetivo entregar agua a diversas actividades, compartiendo de esta forma los costos de la inversión. En Chile existen actualmente algunas plantas multipropósito (o multiclientes) como es el caso de la desalinizadora de la Minera CAP que comenzó a operar el 2014 en la Región de Atacama y que entrega un 18% del agua para el consumo humano de dos comunidades de Copiapó (Caldera y Malpaso) y un 44% para el regadío¹². A pesar de que esta medida de mitigación de costos sería ideal para la sostenibilidad ambiental y social de las desalinizadoras, aún existen brechas normativas y de planificación territorial que deben resolverse antes de instalar más proyectos de este tipo.

¹² Sustentable S.A. En línea: <https://www.sustentable.cl/desalinizacion-multiproposito-la-respuesta-del-mundo-desarrollado-para-paliar-la-escasez-hidrica/>.

V. Normativas asociadas a las plantas desalinizadoras

Debido a que las plantas de desalinización requieren estar cerca del agua de mar, deben ser ubicadas en la Zona costera, lo que implica utilizar un espacio que comprende toda la zona de transición entre el mar y la tierra (plataforma costera, intermareal, playa, terreno aledaño), así como el territorio que abarcan los ductos de transporte del agua hacia el reservorio de agua desalinizada, que pueden comprender una gran distancia en el caso de la minería en Chile (véase diagrama 8). Esto significa que cada una de las etapas del proceso de desalinización se ubica en diferentes sitios geográficos por lo que debe cumplir con las normativas que rigen a cada territorio, y que se encuentra administrado por diversas instituciones.

Diagrama 8
Área geográfica que abarca una planta desalinizadora multipropósito
en las distintas etapas del proceso de obtención de agua



Fuente: Elaboración propia.

La instalación de estas plantas comprende, además, diversas etapas en el tiempo, las que se clasifican generalmente en: 1) etapa de construcción, 2) etapa de Operación y 3) etapa de cierre. Antes de comenzar la etapa de Construcción, la institución o empresa a cargo del proyecto, debe realizar una serie de pasos administrativos para la obtención de los permisos de uso del territorio, construcción y funcionamiento. Cada uno de estos pasos se encuentran regulados por diversas normativas e instituciones, por lo que es un proceso relativamente largo, que puede llegar a durar 6 años (Humberto Díaz, com. Pers). El detalle de todas las normas relacionadas con la instalación de una planta desalinizadora, se describen en GIZ y otros (2020), por lo que, en el presente estudio, solo se analizan algunas de estas normativas que son fundamentales para el permiso ambiental de las plantas, así como aquellas que podrían ser sometidas a revisión para asegurar la sostenibilidad ambiental de esta actividad productiva.

A. Normativa ambiental vigente

Actualmente en Chile, no existe una normativa específica que regule la instalación y funcionamiento de las plantas desalinizadoras. Tanto el agua de mar, como las playas y una parte del borde costero (donde generalmente se ubican las desalinizadoras) son bienes nacionales de uso público (artículo 589 del Código Civil), por lo que para su utilización se requiere contar con una concesión marítima, que permite crear derechos de uso y goce a favor de un particular por un período de hasta 50 años (Echeverría, 2017). Por otra parte, para el ingreso al sistema de evaluación ambiental, los proyectos se presentan principalmente bajo la tipología de Acueducto (a) y emisario submarino (o), sin embargo, existen otras modalidades de ingreso tales como: Producción, disposición o reutilización de sustancias corrosivas o reactivas (ñ), ingreso voluntario (t), Proyecto de desarrollo minero sobre 5000 tons/mes (i). Cada proyecto debe seguir una serie de pasos para obtener la autorización ambiental (Resolución de calificación ambiental (RCA), los que se resumen en el siguiente cuadro, con las principales normativas que se aplican. El detalle de las normas puede ser revisado en el anexo 1.

Cuadro 7
Pasos por seguir para la instalación y funcionamiento de los proyectos de desalinizadoras,
con el resumen de las principales normativas que se aplican en cada paso

Pasos	Normativas
1. Solicitud de Concesión Marítima:	<p>Institución: Ministerio de Defensa, Subsecretaría de Fuerzas Armadas (DFL 340).</p> <p>La Autoridad Marítima puede otorgar concesiones para infraestructura ubicada en el mar y hasta los 80 metros sobre la línea de alta marea.</p> <p>El decreto de concesión marítima solo ampara la utilización de infraestructura en el borde costero. Generalmente, los procesos industriales y otros aprovechamientos se realizan fuera del ámbito de competencia territorial.</p> <p>Plazo de la concesión no puede durar mas de 50 años.</p> <p>Una solicitud de concesión debe especificar su objeto, "expresado en forma clara y precisa, especificando el uso que se dará a cada uno de los sectores y tramos, según su naturaleza". Se añade que, si el objeto de la concesión contempla una cañería aductora de agua, se deberá indicar el volumen total anual que se desea extraer, expresado en metros cúbicos.</p>
2. Ingresar al Sistema de Evaluación ambiental una DIA o EIA según corresponda (Ley 19.300, DS N° 40)	<p>Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA).</p> <p>Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (Decreto Supremo N° 90/00).</p> <p>Guías:</p> <p>SEA 2022. Guía Metodológica Para La Descripción De Ecosistemas Marinos.</p> <p>Winkler P. 2021. Guía para el modelado de la hidrodinámica y del proceso de mezcla de descargas salinas y térmicas asociadas a proyectos de plantas termoeléctricas y desalinizadoras.</p> <p>DIRECTEMAR 2021. Guía para la evaluación ambiental de proyectos industriales de desalación en jurisdicción de la autoridad marítima.</p> <p>Moreno J., Holaschutz D. 2017. Implementación De La Metodología De Estimación del Impacto por succión de recursos hidrológicos para proyectos sometidos a SEIA. Informe final FIPA-2016-53. SUBPESCA, Chile.</p>

Pasos	Normativas
3. Cumplir con la Normativa ambiental vigente	Norma de emisión (Decreto 90, TABLA 5 "mar fuera de la Zona de protección litoral"). Norma de calidad (solo primaria, Decreto 144).
4. Cumplir con los Planes de seguimiento y monitoreo ambiental de la RCA	Resolución Exenta 223/2015 sobre instrucciones generales para la elaboración del plan de seguimiento de variables ambientales, informes de seguimiento y remisión de información al sistema electrónico. Fiscalización de las normas de emisión corresponde a la Superintendencia de Medio Ambiente (SMA). Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA) https://snifa.sma.gob.cl/ , publica los resultados de los Programas de Vigilancia ambiental de cada empresa.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de la revisión de las normativas detallada en el anexo 1.

Cada uno de los pasos anteriores involucra a una serie de instituciones a cargo de la administración del territorio (maritorio) o relacionadas con la protección del medio ambiente y de los recursos pesqueros, entre otras. A continuación, se resumen las instituciones que actualmente están relacionadas con las desalinizadoras:

Cuadro 8
Instituciones relacionadas con la administración, permisos, fiscalización y funcionamiento de las plantas desalinizadoras en Chile

Institución	Responsabilidad
Ministerio de Defensa Nacional Armada de Chile	Subsecretaría para las fuerzas armadas Asignación de concesiones marítimas. Comisión nacional de uso del Borde costero.
	Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR) Conceder el uso particular, en cualquier forma de los terrenos de playa, de las playas, rocas, porciones de agua, fondo de mar, dentro y fuera de las Bahías. Directrices para evaluación Ambiental. Gobernaciones Marítimas: responsable de garantizar la seguridad y la protección en las actividades marítimas, así como el cumplimiento de la normativa y regulaciones nacionales e internacionales relacionadas con el mar y su entorno.
	Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (SHOA) Proporciona información sobre las condiciones oceanográficas y meteorológicas en las aguas chilenas. Levantamiento de cartas náuticas Investigación oceanográfica.
Ministerio de Medio Ambiente	Servicio de evaluación ambiental (SEA) Encargado de evaluación y declaración de Impacto Ambiental.
Superintendencia de Medio Ambiente (SMA)	Fiscalizar y sancionar las infracciones ambientales cometidas por empresas e instituciones en Chile, y así garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental y proteger el medio ambiente.
Ministerios de Bienes Nacionales	Administración de terrenos fiscales.
Municipios	Planes reguladores.
Ministerio de Economía	Subsecretaría de Pesca y Acuicultura Responsable de la fiscalización y control de la contaminación de las aguas en las zonas de pesca y acuicultura del país.
Corte Suprema	Tribunal Ambiental Garantizar una justicia especializada y eficaz en materias ambientales.
MOP	Junto al Ministerio del Medio Ambiente; de Agricultura; de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, de Relaciones Exteriores cuando comprenda cuencas transfronterizas, y de los CORECC respectivos Planes Estratégicos de Recursos Hídricos en Cuencas ²³ : aportar a la gestión hídrica, identificar las brechas hídricas de agua superficial y subterránea, establecer el balance hídrico y sus proyecciones, diagnosticar el estado de información sobre cantidad, calidad, infraestructura e instituciones que intervienen en el proceso de toma de decisiones respecto al recurso hídrico y proponer un conjunto de acciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático sobre el recurso hídrico, con el fin de resguardar la seguridad hídrica.

Fuente: Elaboración propia.

²³ Ley 21455 Ley Marco de Cambio Climático.

Al revisar críticamente cada uno de los pasos para la instalación de plantas desalinizadoras, es posible generar algunas observaciones sobre las implicancias y falencias de las normas correspondientes. De esta forma, se constata que uno de los principales problemas tiene relación con el derecho de aprovechamiento y uso del agua desalinizada (propiedad). Este problema radica en que en la legislación chilena actual sólo existen normas para obtener concesiones de uso de porciones o “parcelas” de mar y/o de costa, así como autorizaciones para la construcción de obras, servidumbres sobre terreno fiscal o particular (incluso forzosa), pero no está regulada la extracción del agua de mar.

En la Constitución Política (Art. 1919 N° 23) se establece como bienes del Estado, aquellos que deben pertenecer a la nación y son declarados en ese rango por ley. Los bienes estatales están excluidos del comercio humano, sólo admiten su uso y goce por medio de autorizaciones, permisos o concesiones temporales administrativas. En este sentido, el artículo 595 del Código Civil dispone que todas las aguas entre las que se incluyen las marítimas son bienes nacionales de uso público, por lo que existe una limitación a los derechos de los particulares, permitiendo la expropiación del agua desalada aún cuando esta ha sido sometida a un proceso que transforma la naturaleza del bien nacional de uso público original.

Por otra parte, en la normativa de Concesiones Marinas (Decreto Fuerza de Ley No 340/60) existe una deficiencia en la determinación de la naturaleza jurídica del resultado del proceso de desalinización. Algunos argumentan que, aunque el agua sigue siendo de dominio público, el desalinizador puede hacer libre uso de ella (similar a un dueño de predio haciendo uso de aguas pluviales). Otra postura es que la desalinización transforma el agua, convirtiéndola en “un producto industrial libremente apropiable por el transformador”, por lo que su naturaleza jurídica sería de “su titular y su destino”. Esto se traduce en que, si el titular es público y su destino un uso de servicio público, el agua resultante del proceso también sería de uso público. De realizar la desalinización un privado, el agua resultante será privada y, por lo tanto, se podrá comercializar con ella. En este contexto, existe un vacío en torno a la posición jurídica en la que se encuentra el desalinizador respecto del agua fresca que produce tras el proceso de desalinización, en virtud de la cual se justifique la comoditización del agua de mar, o sea, su transformación de un recurso público disponible para el uso común, a un “*commodity*” que puede ser tomado para ser vendido y consumido (Skewes, 2017). Para dar solución a este conflicto, se encuentra actualmente en el congreso un proyecto de ley que busca regular el funcionamiento de las plantas desalinizadoras (véase sección V.b).

Sumado a este problema sobre la propiedad de las aguas, se destaca el hecho de que, en la actual normativa de concesiones, la asignación se realiza utilizando el criterio del **Primer Solicitante**, sin considerar una planificación u ordenamiento territorial que permita asignar usos preferentes y compatibles en la zona costera. Esto a pesar de que actualmente existe una Política Nacional de Uso del Borde Costero (Decreto Supremo N°475) que señala la necesidad de la Zonificación costera, así como las Comisiones Nacionales y regionales de Uso del Borde costero (CNUBR) que tienen a cargo llevar a cabo estas zonificaciones regionales. Sin embargo, hasta la fecha solo se han aprobado y decretado en dos regiones de Chile (Coquimbo y Aysén) y aún no existen metodologías de zonificación claras, no se articulan efectivamente con instrumentos de planificación territorial y en general existe una escasa gobernanza que permita una articulación entre instrumentos de planificación territorial. Este tema es sumamente relevante, ya que la planificación del territorio (maritorio) permitiría asegurar la correcta ubicación de las plantas desalinizadoras, evitando el solapamiento con otros usos e intereses y logrando así una armonía de las actividades humanas y la sostenibilidad en el tiempo de estas. La falta de este tipo de planificación (zonificación) puede deberse a que las normativas chilenas no consideran la zona costera en su concepto y como objeto de gestión, por lo que la gestión actual de la costa solo considera la administración del “borde costero”. En definitiva, en Chile no existe una gestión integrada de la zona costera (GIC), por lo que se dificulta la proyección de los diversos usos que en ella se puedan generar.

Otro arista del análisis de la normativa vigente es el hecho de que en la actual Ley 19.300 sobre bases del medio ambiente, no se mencionan los proyectos de desalinización entre el listado de proyectos o actividades susceptibles a causar impacto ambiental y que deben someterse al SEIA, por lo que ingresan bajo distintas tipologías. Esto resulta en dificultades para la clasificación de los proyectos y

para la aplicación de las normativas correspondientes. Sumado a esto, no existe un catastro nacional de plantas desalinizadoras en la costa del país, por lo que existen diferencias entre los números entregados por diversas fuentes. Por otra parte, esta normativa ambiental se basa en el concepto del efecto de un contaminante, que de acuerdo a la Ley 19.300 se define como “*todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental*”. Sin embargo, este concepto no aplica para el “estrés” producido en la flora y fauna marina, producto de los sistemas de captación de agua para desalinizar (FIPA, 2016).

Respecto a la descarga de salmuera, actualmente la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, no incluye un límite máximo para la salinidad y por esto se utilizan como referencia estándares internacionales (véase cuadro 9). Sin embargo, no se menciona cual es el indicado para el caso de las desalinizadoras en Chile y queda a decisión de la empresa cual criterio utilizar en su EIA y en su Programa de vigilancia. Una de las normas internacionales más utilizadas es el *State Water Resources Control Board de California*, que recomienda un límite de salinidad en la zona de descarga que no exceda el 5% de los niveles que ocurren naturalmente alrededor de la descarga, esto quiere decir que en una zona costera con salinidades típicas de 34.5 psu, se permitiría un aumento de 1.7 psu.

Sumado a lo anterior, en la normativa ambiental no se considera el efecto de la desalinizadora (combinado con otras posibles fuentes de contaminación) sobre el ecosistema costero, si no que solo existen **Normas primarias de calidad** que indican cuales son los límites máximos o mínimos permisibles, de elementos que pongan en riesgo la salud o vida de las personas. Esto es producto de que no se han elaborado Normas de Calidad Secundaria para las zonas costeras, que son aquellas que regulan los límites de elementos que ponen en riesgo la conservación o protección del medio ambiente (SINCA). Se destaca, además, que actualmente Chile carece de una normativa de calidad de sedimentos acuáticos y organismos marinos de consumo humano, lo que impide una aplicación eficiente de medidas de control de la actividad antrópica desarrollada en ambientes costeros (Calderón y Valdés, 2012).

Cuadro 9
Normas internacionales de referencia para evaluar los efectos de las descargas de desalinizadoras

Institución/autores	País	Norma
State Water Resources Control Board de California (Jenkins y otros, 2012)	Estados Unidos	Recomienda un límite de salinidad incremental en el límite de la zona de mezcla de no más del 5% de lo que ocurre naturalmente en las aguas alrededor del descarga pues permite dar cuenta de la variabilidad natural, reflejada en la Línea de Base.
Palomar y Losada (2011)		sugieren un incremento de salinidad menor a 2 psu para el 5% de las observaciones o niveles de fondo.
Quality criteria for water (USEPA, 1986)	Estados Unidos	el aumento de salinidad a partir de su nivel base no debe exceder 4 psu en áreas permanentemente ocupadas por plantas con aptitud para consumo como alimento o formadoras de hábitat, cuando la salinidad natural se ubique en el rango 13,5 y 35 ppt (psu).
Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica (MOPU, 1988)	España	Considera aceptable un incremento no mayor al 10% de la salinidad base en el medio.
Australian Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters (ANZECC, 1992)	Australia	Establece como estándar ambiental aceptable un incremento no mayor al 5% de la salinidad base en el medio marino receptor.
Metodología de diseño de los vertidos al mar de la salmuera, para reducir el impacto ambiental de las plantas desalinizadoras (IHA y CEDEX, 2011)	España	La concentración de salmuera en la zona donde exista posidonia oceánica (fanerógama marina endémica del Mar Mediterráneo, protegida a nivel europeo) no deberá superar los 38.5 psu.

Fuente: Elaboración propia sobre la base de Winkler (2021).

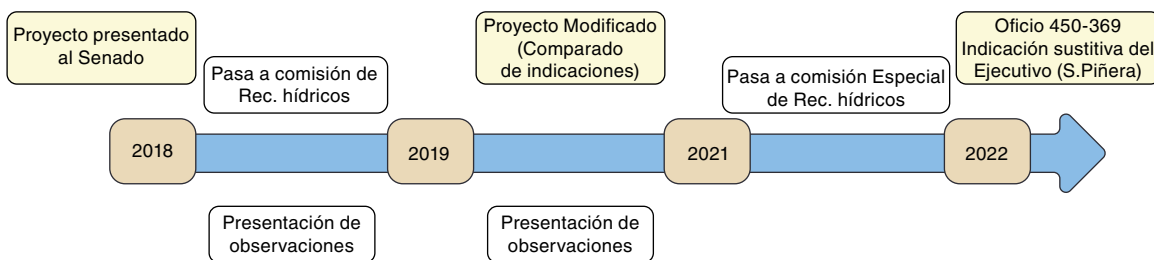
Por último, en Chile no existe un sistema de monitoreo costero realizado por una institución estatal que sirva como línea base y comparación con los monitoreos realizados por las empresas en sus Planes de seguimiento. Solo existe el Programa de observación del Ambiente Litoral (POAL)¹⁴ que monitorea las fluctuaciones anuales de los niveles de concentración de los principales componentes de desechos domésticos, industriales, de hidrocarburos de petróleo y COP's en las bahías, lagos y ríos sometidos a la jurisdicción de la DIRECTEMAR. Producto de esto, es difícil observar efectos en el tiempo sobre una zona costera específica, ya que no existe información para comparar. Así mismo, destaca el hecho de que la normativa ambiental no obliga a las empresas a instalar sistemas de monitoreo continuo de variables relevantes para el ecosistema costero, tales como la salinidad y temperatura, a pesar de que existen sistemas disponibles en el mercado.

B. Propuesta de normativa

Actualmente existe un Proyecto de Ley que está en discusión en el senado "**Sobre el Uso del Agua de Mar para la Desalinización**" presentado el 25 de enero de 2018 (Boletín N° 11608-09) (véase diagrama 9). Los motivos para presentar el proyecto fueron los siguientes:

- Necesidad hídrica.
- Falta de regulación sobre el Bien común (Agua de mar).
- Solo se otorga el derecho a captar agua marina con el otorgamiento de Concesiones Marítimas. Existe, la necesidad de clarificar si la concesión autoriza el aprovechamiento consuntivo de agua marina y las características o limitaciones de ello.
- Régimen jurídico aplicable al producto de la desalación, el agua desalada.
- Se carece de una definición pública en torno a las orientaciones y prioridades en el uso de mar, que compatibilicen los objetivos públicos o privados.

Diagrama 9
Línea de tiempo del proyecto de ley "Sobre el Uso del Agua de Mar para la Desalinización"



Fuente: Elaboración propia.

La indicación sustitutiva del ejecutivo, ingresada al senado el 3 de marzo de 2022 señala que las concesiones otorgadas **NO entregan dominio** sobre los bienes nacionales de uso público. La concesión comprende la extracción de agua de mar para su desalinización y conducción. Considera el uso del borde costero y el uso de otros bienes nacionales de uso público, necesarios y pertinentes, observando la zonificación dispuesta en los instrumentos de ordenamiento y planificación. Se otorga por un plazo máximo de 30 años mediante decreto supremo expedido por el MOP "Por orden del Presidente de la República". Podrá ser modificada, transferida o renovada. Considera una cantidad máxima de extracción de agua de mar en periodos determinados (en base a criterios científicos). Propone generar una Estrategia

¹⁴ En línea: <https://www.directemar.cl/directemar/intereses-maritimos/p-o-a-l-programa-de-observacion-del-ambiente-litoral/programa-de-observacion-del-ambiente-litoral-p-o-a-l>.

Nacional que promueva el desarrollo sostenible de iniciativas y proyectos de desalinización, priorizando el uso para consumo humano y saneamiento. Los proyectos que no tienen como fin la desalinización para consumo humano, podrán contemplar como condición de otorgamiento y ejercicio de la concesión, un aporte mensual de la concesionaria de hasta 5% de su capacidad de producción para consumo humano y/o a saneamiento. La concesión será otorgada por la DGA y la RCA constituye una condición esencial para el otorgamiento de la concesión. Permite realizar un cambio en el uso de la concesión (ej. pasar de consumo humano a minería).

Entre las observaciones a este proyecto de ley se pueden mencionar las siguientes:

- La Discusión está centrada en la propiedad del agua desalinizada (¿público o privado?).
- La Estrategia Nacional de Desalinización busca principalmente **promover** la desalinización a nivel regional y nacional considerando los actuales instrumentos de planificación territorial y zonificaciones. Sin embargo, actualmente solo dos regiones poseen Zonificación costera decretada, por lo que este instrumento no se está aplicando eficientemente. Se eliminan los objetivos propuestos para esta estrategia que buscaban evitar daños ambientales, elaborar planes vinculantes y participativos, considerar, en el caso del aprovechamiento para fines productivos, compensaciones de agua desalada para pequeñas comunidades costeras con déficit de agua para consumo humano. Tampoco se incorporan las propuestas de que esta estrategia nacional “Promueva investigación para aprovechar agua de descarte” o para “viabilizar el agua en agricultura”.
- Se debe Priorizar la revisión de la normativa y funcionamiento de la Gestión del Borde costero (Hay norma, poco efectiva y no existen zonificaciones ni planificación en las regiones).
- No se regulan los efectos ambientales en el proyecto de ley.
- Se promueve la desalinización como única solución a la sequía, se puede analizar otras alternativas como mejorar la eficiencia del uso de agua, el uso del agua de desecho, y otros.
- Deja en manos de la DGA la elaboración de la estrategia nacional, con CONSULTA a la comunidad organizada. No se incluye a la ciencia.
- Deja en manos de la DGA el otorgamiento de las concesiones, lo que se contrapone al Decreto Fuerza de Ley n° 340 sobre concesiones.

Por otra parte, cabe mencionar que recientemente ingresó al congreso una propuesta de Proyecto de Ley de Costas¹⁵, impulsada principalmente por el mundo científico, que busca generar un **ordenamiento de la costa** de manera integral y sistémica, al mismo tiempo que permita establecer normas y directrices para materializar una planificación y gestión integrada de la costa (Ley de Costas, Martínez y otros, 2020). Este proyecto de ley modifica la definición actual de borde costero, hacia el de zona costera y propone una gestión integrada de esta zona para lograr su ordenamiento y uso sustentable.

C. Percepciones y opiniones de tomadores de decisiones sobre las Desalinizadoras en Chile

Como parte del presente estudio se realizó un informe denominado “Una aproximación a las miradas de actores expertos del sector público-privado sobre la desalinización en Chile”, que tuvo como objetivo recoger los principales posicionamientos en materia de regulación socioambiental, enmarcado en la crisis actual de cambio climático y escasez hídrica, sobre el abastecimiento hídrico para la gran industria minera en el país. Este pre-diagnóstico social invita a posicionar en la discusión a nivel nacional, las desalinizadoras y su desarrollo, repensando el modelo actual, y las posibles ventajas y/o desventajas en su implementación en la zona costera de Chile. Esto, considerando el marco de gobernanza institucional e

¹⁵ En línea: <https://www.observatoriodelacosta.cl/ley-de-costas/>.

hídrica, así como también el estado de la discusión referente al Proyecto de Ley de desalinizadoras, tanto como a la proclamada Ley de Cambio climático. Cabe destacar, que, por el alcance conceptual y temporal de este estudio, se ha escogido realizar este prediagnóstico para enriquecer la información tratada en el informe solicitado por CEPAL, a modo de fortalecer las fuentes bibliográficas revisadas, obteniendo de manera directa, discursos, miradas y experiencias, que permiten fortalecer y complementar el trabajo de revisión de fuentes secundarias. La metodología cualitativa utilizada en este diagnóstico social fue la entrevista semiestructurada como técnica principal para este estudio y el detalle de esta metodología puede revisarse en el Anexo II del presente estudio.

A partir de las entrevistas se evidenció que las y los diversos actores, dan cuenta de miradas comunes y diversas en cuanto a las desalinizadoras y su **relación frente a la escasez hídrica y el cambio climático**. Por una parte, estas plantas son vistas como una oportunidad para el abastecimiento hídrico, o como un desafío mayor, que puede escalar a más impactos en términos de este. Algunas visiones desde el sector académico apuntan a la necesidad de contemplar y desarrollar otras acciones previas ligadas a la gestión del recurso hídrico, tales como avanzar en los planes de eficiencia hídrica, restauración y protección de humedales, entre otras, así como educación ambiental y regulación de aquellos aspectos legales que presentan hoy, importantes vacíos en cuanto al océano y la zona costera, como foco de interés. Esto último, se expresa, además, por quienes piensan que el agua de mar podría ser una opción para el abastecimiento hídrico, como una solución para frenar los impactos ecosistémicos a nivel continental. Esta visión, deja entrever valoraciones respecto al mar y su biodiversidad, en comparación al agua continental y sus ecosistemas. Es decir, dualidades que expresan el cuidado del agua dulce por sobre el agua salada. Por otra parte, las desalinizadoras son expuestas como una eficaz solución económica a los estragos del cambio climático y la necesidad de agua para consumo humano e industrial, pero esta visión se basa en la mirada del océano y su agua como un bien común infinito¹⁶, puesto a disposición, para su uso y comercialización.

En los temas de **regulación Socioambiental** en Chile y su articulación con las plantas desalinizadoras, las miradas por parte de las y los entrevistados arrojan diversos puntos. Por una parte, la discusión del Proyecto de Ley de desalinización brinda oportunidades para designar normas en cuanto a estos procesos industriales, y la participación y robustecimiento del Servicio de Evaluación Ambiental en ello. Sin embargo, al mismo tiempo, abre un fuerte debate sobre su nivel de profundización y claridad en exigencia socioambiental. Pues, la principal motivación debiese estar centrada en la importancia del ordenamiento territorial, criterios de evaluación de proyectos y, sobre todo, en obligaciones hacia el sector industrial. Temas que dan cuenta de profundos vacíos legales en esta materia y una nebulosa que también refiere al agua desalada, y su estatus o no, como uso de bien público. Por otra parte, la gobernanza hídrica en Chile y sus complejidades, dejan abierta la necesidad de articular miradas y sectores, tanto como la participación de los territorios más cercanos a estos contextos. Una agenda ministerial que ha estado generando esfuerzos para crear alianzas y mesas de trabajo en este sentido, pero que trae desafíos en cuanto a procesos centralizados en la discusión. Respecto a la importancia de la regulación, esta no solo es mencionada bajo el contexto ambiental, sino también económico. Esta dualidad, refiere al sector privado, el que alude a la urgencia de claridad en materia legal, que evite desincentivos económicos por parte de los inversionistas. Algo, que, bajo estos argumentos, podría ocasionar urgencias y desastres en términos de falta de abastecimiento del recurso hídrico. Capacidades de inversión e innovación que argumentan, el sector privado puede financiar y con elevados estándares. Una clara carta magna, según ellos, debiese delimitar los campos de acción, lo que favorece a este tipo de proyectos, en términos de recursos y tiempo. A su vez, la participación en el diálogo y diseño de estas leyes refuerza el interés por conformar parte en la discusión sobre las desalinizadoras en el país. Visiones que, además, dan cuenta de la importancia que cobra el recurso hídrico, para el sector privado de mega infraestructura, ahora, en un nuevo foco, el mar.

¹⁶ Cabe mencionar, que esta mirada del mar como espacio sin límites, es una percepción simplista y anticuada de lo que actualmente se conoce sobre el funcionamiento y la interconexión de los ecosistemas marinos y terrestres, así como su interdependencia.

Por otra parte, se hace una clara alusión a la relación de los **impactos ambientales** con la falta de estudios y conocimiento especializado en cuanto al contexto del océano pacífico y a las condiciones de la costa chilena, ejemplos que una vez más, bajo la mirada académica, debiesen ser suficientes para utilizar principios precautorios¹⁷. En cuanto a los cambios del paisaje, estos refieren a la pérdida de acceso público a la playas, bahías y caletas, donde conviven diversas miradas y usos que sufren estragos con la llegada de estas plantas desalinizadoras. Consecuencias no sólo económicas por la pérdida de actividades como el turismo o la pesca, sino de dinámicas socioculturales, relacionadas a prácticas y saberes locales, los que, al parecer, son amortiguados a través de compensaciones económicas, que dan cuenta de prácticas hegemónicas de desarrollo.

Respecto a la relación de estas plantas desalinizadoras con otros megaproyectos energéticos, se señala reflexivamente la triangulación entre ellas, lo que genera impactos igual de importantes a nivel socioecológicos. Una mirada que, desde el sector gremial de las desalinizadoras en Chile, se reduce a un aspecto económico referido a procesos como el bombeo y traslado del agua, un hecho que, por cierto, la industria argumenta puede asumir, y que marca un hito en el esfuerzo de proveer de agua a comunidades y diversos sectores. Transversalmente, se hace alusión a la importancia de elevar los estándares regulatorios y, por ende, tecnológicos, a la hora de planificar el desarrollo de plantas desalinizadoras, así como también de sus consecuencias a futuro. Se pone, además, énfasis en la implementación y rol de los planes de monitoreo y vigilancia, además de la inversión pública y privada en la formación y especialización de capital humano que pueda abordar y apoyar las innovaciones necesarias para lograr una industria realmente sostenible. Finalmente, el gobierno y sus secretarías regionales cumplen un rol fundamental en la protección, fiscalización y aprobación de proyectos en la zona costera. Para ello, se hace necesaria la mirada de la conservación y cuidado de la biodiversidad marina, en sintonía con el cambio climático y con el proyecto de ley de desalinización en Chile.

A partir del estudio, se elaboró, además, un resumen con las principales ventajas y desventajas propuestas por las y los entrevistados, en cuanto a la implementación de plantas desalinizadoras en Chile.

Cuadro 10
Ventajas y desventajas de las desalinizadoras desde una perspectiva multiactor

Ventajas–Oportunidades	Desventajas–Desafíos
<p>Abastecer de agua a las comunidades afectadas por la sequía y escasez hídrica en el marco del cambio climático. Abastecer de agua a la industria minera en zonas de escasez hídrica, como el norte de Chile</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Poca regulación en materia específica de plantas desalinizadoras en Chile. • Falta de claridad y profundización en la discusión actual del Proyecto de Ley de Desalinización. • Necesidad de fortalecimiento de gobernanza hídrica en Chile. • Falta de articulación con otras Leyes como la de Cambio Climático. • Falta de planes de adaptación hídrica y eficiencia del recurso. • Acelerada “solución” sin planificación y estudios referentes al contexto del borde costero y océano pacífico, respecto a los impactos de una industria como esta. • No existen por el momento, soluciones claras en cuanto al residuo de salmuera. • Al no contar con planes de ordenamiento territorial, la ubicación geográfica de estos proyectos no está siendo un criterio que considerar en la aprobación de plantas desalinizadoras. • Falta de estudios en materia de ecosistemas marinos y monitoreo post funcionamiento de plantas desalinizadoras. • Cambios en el paisaje y pérdida de saberes y prácticas socioecológicas.

Fuente: Elaboración propia, obtenida de la sistematización de las encuestas a actores relevantes realizadas en el marco del presente estudio.

¹⁷ Adopción de medidas protectoras ante las sospechas fundadas de que ciertos productos o tecnologías crean un riesgo grave para la salud pública o el medio ambiente, pero sin que se cuente todavía con una prueba científica definitiva.

VI. Análisis, discusión y sugerencias

Dado el contexto de crisis hídrica, cambios globales y un modelo económico altamente dependiente del consumismo de una población humana que continúa creciendo, las plantas desalinizadoras aparecen como una solución que podría resolver parte de los problemas, proporcionando uno de los elementos claves para la vida y que sostiene la mayoría de los procesos de que depende la sociedad. Sin embargo, a partir de este estudio, se evidencia que esta solución conlleva impactos ambientales, dependencia energética y una relevante huella de carbono. Si bien se plantea que una ventaja de esta industria es abastecer de agua a la industria minera y la población, especialmente en aquellas zonas donde este recurso es cada vez más escaso, son aún necesarias diversas mejoras tecnológicas relacionadas con el aumento de su eficiencia energética y una mayor sostenibilidad socioecológica, así como la consideración de este tipo de industrias como una alternativa complementaria a otras medidas que resuelvan la crisis hídrica. Se requiere, por lo tanto, que los beneficios asociados a la instalación de una desalinizadora en una determinada zona costera, supere sus costos ambientales, económicos y sociales, disminuyendo de esta forma, los potenciales conflictos socioambientales que pueden generarse en torno a ella.

En vista de que estas plantas desalinizadoras son consideradas como una solución tecnológica frente a la escasez hídrica en el mundo, pueden representar implicancias tanto positivas como negativas para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), tales como el efecto positivo sobre el ODS 6 que busca garantizar el acceso universal a agua limpia y saneamiento. Asimismo, se aplica al ODS 11 de Ciudades y comunidades, ya que las desalinizadoras podrían proporcionar agua potable para áreas urbanas densamente pobladas, sin embargo, la construcción de desalinizadoras genera a la vez, un impacto negativo en el medio ambiente y en las comunidades locales, lo que puede tener implicaciones para el ODS 11, que busca hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean más inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Una externalidad puede visualizarse sobre el ODS 7 (Energía asequible y no contaminante), ya que las desalinizadoras requieren energía para operar, y la producción de esta energía debería ser asequible, confiable, sostenible y moderna. En relación con el ODS 13 (Acción por el clima), la desalinización puede ser una forma de adaptarse al cambio climático y mitigar sus efectos, especialmente en áreas afectadas por la escasez de agua, pero la dependencia de energía necesaria para su funcionamiento podría implicar una externalidad en el medio ambiente y en el clima. En cuanto al ODS 14 (Vida submarina) que busca conservar y utilizar de manera sostenible los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible las desalinizadoras representan un impacto negativo sobre

la calidad del agua y la vida marina en la zona de extracción, especialmente si la salmuera y otros productos químicos utilizados en el proceso de desalinización no se manejan adecuadamente. Por lo tanto, los efectos positivos y negativos de las desalinizadoras sobre los ODS deben ser considerados cuidadosamente, especialmente por sus impactos ambientales, sociales y económicos, tomando medidas que garanticen que la desalinización se lleve a cabo de manera sostenible y equitativa.

Frente al presente escenario del aumento de proyectos de desalinización en Chile asociados con la minería, es fundamental identificar las implicancias y efectos socio-ecológicos de esta industria, así como sus posibles soluciones. Es así como se observa un mayor interés sobre el tema, lo que se evidencia en un aumento del número de publicaciones científicas y periodísticas que se orientan principalmente a la descripción y mejoras tecnológicas de esta industria, así como a sus regulaciones ambientales. Ante la necesidad de contar con información sistematizada que ayude a los tomadores de decisiones, se publicó en el mes de diciembre de 2022 un estudio del Comité Científico por el Cambio Climático titulado "Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile" (Vicuña y otros, 2022), y que fue solicitado por el Ministerio de Medio Ambiente para contar con bases científicas que contribuyan al desafío de planificar el desarrollo del aumento de plantas desalinizadoras en el país. Es recomendable la lectura y análisis de ese informe como complemento del presente estudio.

Considerando el contexto de Chile, que posee una extensa costa con condiciones únicas de productividad que generan ecosistemas con alta biodiversidad y biomasa, que permite sostener una de las pesquerías más importantes del mundo, actualmente no existen criterios integrales para asegurar la conservación de los ecosistemas costeros. Esto se refleja perfectamente en las opiniones de algunas personas, que aún plantean que *"el mar es un cuerpo de agua infinito disponible y que posee una enorme capacidad de disolución y de dispersión para cualquier tipo de elementos, coproductos o desechos producidos por las actividades humanas"*, sin contar con información suficiente o confiable. A partir del presente estudio, se demuestra que las plantas desalinizadoras generan diversos efectos sobre el ambiente, las que se relacionan principalmente con: 1) la descarga de salmuera, 2) la captación de agua con organismos planctónicos, (3) la emisión de gases de efecto invernadero, 4) la introducción de químicos y 5) la alteración del paisaje del territorio y maritorio que comprende la planta propiamente tal y los ductos de transporte del agua. Aunque se dispone de evidencia de las externalidades que producen las desalinizadoras sobre el ecosistema costero (especialmente en la zona aledaña a la descarga y captación), la mayoría de estos estudios se han realizado en otras partes del mundo, existiendo muy pocas investigaciones en las costas de Chile y LAC. Tomando en consideración una de estas investigaciones, donde se demuestra que la exposición a corto plazo a la salmuera sobre una especie de macroalga, puede provocar efectos perjudiciales a nivel ecofisiológico y celular, es posible suponer los impactos que podrían generar sobre los "Bosques de Kelps o Huiros" (*Macrocystis* y *Lessonia*), que son un ecosistema costero clave para sostener la biodiversidad, proteger la costa, oxigenar el agua y capturar el CO₂, en el entendido de que Chile posee cerca de un tercio de la superficie de estos bosques en el mundo.

Frente a esta incertidumbre se recomienda llevar a cabo investigación científica en líneas como:

- Efectos sobre los ecosistemas costeros de Chile, tomando en consideración las adaptaciones y sensibilidad de las especies locales al aumento de la salinidad.
- Estudios del rango de tolerancia a altas salinidades en especies claves del ecosistema donde se proyecte instalar este tipo de plantas.
- Potenciales efectos de la captación del agua sobre la trama trófica y sus implicancias socioecológicas.
- Implementación de diseños de monitoreo Antes-Después y Control-Impacto, con una adecuada replicación y múltiples estaciones de referencia independientes, para identificar adecuadamente los potenciales impactos de las plantas desalinizadoras (Roberts y otros, 2010).
- Estudios de los efectos de la salmuera sobre el equilibrio químico del océano. La salmuera cambia la alcalinidad del agua, por lo que se altera el sistema de carbonatos (estado de

saturación del carbonato (Ω)), lo que podría generar implicancias sobre organismos calcificadores, que necesitan este carbonato para formar sus conchas.

- Investigaciones que relacionen la interacción de la salmuera con los efectos de la futura acidificación del océano, producto del aumento del CO_2 atmosférico y en el caso de Chile, de la intensificación de la surgencia costera (aflora agua con bajo pH).

La investigación científica sobre los efectos socioecológicos de las desalinizadoras aportará, además, a la comprensión de la relación entre los efectos de esta industria y la variabilidad ambiental local, dada por la dinámica temporal y geográfica, así como por forzantes ambientales naturales y antropogénicas actuales y/o futuras (ej. eventos El Niño y el Cambio climático). Actualmente no existe un programa nacional o iniciativa que fomente y financie este tipo de estudios, en este sentido, se sugiere la creación de un centro de investigación público que realice estudios ambientales de la zona costera y que no esté supeditado a concursos de investigación, si no que tenga la misión de generar líneas base sobre el estado del ambiente, haga análisis de calidad ambiental y cuya información sirva para la toma de decisiones del SEIA y para contrastar los monitoreos y estudios de impacto ambiental de las empresas.

Una propuesta para abordar tanto las investigaciones científicas como los monitoreos es el uso de las AMERBs como *proxys* o áreas de estudio, para comparar antes y después de la instalación de las desalinizadoras. La administración de estas áreas está a cargo de pescadores(as), que deben realizar estudios de situación base y de seguimiento periódicos de los recursos bentónicos, lo que facilitaría la implementación de monitoreos ambientales asociados a estos estudios. Es destacable que en la mayoría de las zonas en que actualmente operan o se planea instalar plantas desalinizadoras, existen AMERBs cercanas las que podrían hacer seguimiento con apoyo de la ciencia y con fuentes de financiamiento público-privadas.

Producto del cambio climático se generarán mayores eventos extremos, como marejadas y trombas marinas, lo que puede afectar las instalaciones costeras de las plantas desalinizadoras. A esto se suma el aumento del nivel del mar que genera una variación en la topografía y la dinámica de la zona costera, por lo que se debe incluir estos riesgos en la planificación de las zonas de instalación de las plantas, así como en el diseño o evaluación de riesgos financieros. Un ejemplo reciente del impacto de los eventos extremos se presentó en el balneario Punta Chungo, comuna de los Vilos, producto del colapso de la plataforma *offshore*, que apoyaba la ejecución de las obras marítimas necesarias para el posicionamiento definitivo de las tuberías de captación de agua de mar y descarga de salmuera, que terminó varada en la orilla de la costa¹⁸. Además, Chile es uno de los países más sísmicos del planeta, entonces, los proyectos de desalinizadoras deberían considerar el límite máximo de inundación definido por el Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada¹⁹.

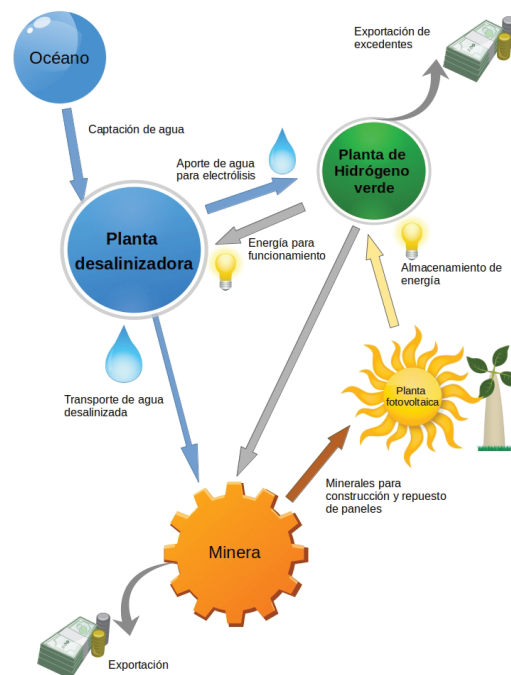
La creciente demanda de minerales para la producción de tecnologías, la transición energética hacia una economía global baja en carbono y la electromovilidad, que requieren de cobre, litio, níquel y otros minerales, implica que para evitar el déficit del suministro, se produzca una presión de la industria para expandir sus fronteras extractivas, principalmente hacia países de LAC, que cuentan con importantes reservas de minerales, como el caso de Chile que posee las principales reservas de litio y cobre (Viana Ríos, 2018), manifestándose un interés internacional por este país productor de estas materias primas. El aumento de demanda de minerales conlleva a la vez a una mayor necesidad de agua para el funcionamiento de la industria, que, en el caso de Chile, las faenas mineras se encuentran ubicadas principalmente en una de las zonas más secas del mundo, por lo que se genera una interdependencia de ambas actividades productivas, que dependen a su vez de fuentes de energía para su funcionamiento (la planta desalinizadora y el sistema de transporte de agua hacia la mina), es decir, un nexo del agua y la energía. Estas fuentes de energía deberían ser idealmente renovables y bajas en carbono, para cumplir con los planes de descarbonización y mitigar los efectos del cambio climático, por lo que fuentes solares o eólicas son deseables, asociadas a un sistema de almacenamiento, que asegure su óptimo funcionamiento.

¹⁸ En línea: <https://cooperativa.cl/noticias/pais/region-de-coquimbo/fuertes-marejadas-provocaron-que-plataforma-portuaria-colapsara-en-los/2022-08-15/203502.html>.

¹⁹ En línea: www.shoa.cl/servicios/citsu/citsu.html.

De esta forma se observa una posible conexión entre la industria de la desalinización con la del Hidrógeno Verde (HV), debido a que el proceso de generación de hidrógeno (electrólisis) utiliza agua destilada o desalinizada y las plantas desalinizadoras requieren a su vez de una fuente de energía estable (véase diagrama 10). En este sentido, se destaca que actualmente Chile se está posicionando como un futuro exportador de HV, y se ha planteado que la “descarbonización y la competitividad de Chile en energías renovables le abre las puertas para crear un sector económico que podría equiparar en tamaño a la industria minera nacional”²⁰. Esto significa que podría generarse un aumento en la instalación de plantas desalinizadoras (asociadas a HV) no solo en la costa norte de Chile, si no que en el centro y sur del país (ej. Magallanes, Biobío) por contar con importantes flujos naturales de viento como fuente para generar energía eólica, además, de otras fuentes renovables. Frente a esto, se propone que antes de continuar impulsando este tipo de iniciativas (que cuentan con un claro interés desde el sector privado-empresarial), deben evaluarse detenidamente sus implicancias socioecológicas, tomando en consideración los efectos ambientales de las desalinizadoras detallados en este estudio. Una cuestión relevante es la instalación de este tipo de plantas en la costa sur de Chile, debido a que la columna de agua, presenta típicamente menores salinidades (en comparación a la zona norte del país) producto del aporte de agua dulce de los ríos y una alta variabilidad estacional por la escorrentía y pluviosidad por lo que las especies costeras podrían ser aún más sensibles a la salmuera. En este sentido, se evidencia la falta de información sobre las implicancias que podría tener la instalación de desalinizadoras, asociada a la producción de HV en estas zonas, lo que es fundamental para comprender sus efectos socioecológicos. Se destaca así mismo, la importancia de revisar y analizar los costos/beneficios asociados a la industria del Hidrógeno verde en Chile, como solución para la transición energética hacia la descarbonización, ya que se propone como una industria verde por su capacidad de funcionar a base de energías renovables, pero estas son a su vez dependientes del abastecimiento de minerales específicos y la construcción y reemplazo de sus materiales aún depende en gran medida de materiales y de energía generada con fuentes fósiles, sin embargo, este análisis no está en los alcances del presente estudio, y solo se plantea como un tema relevante para investigar.

Diagrama 10
Modelo de flujo para representar la relación entre la industria minera, plantas desalinizadoras, fuentes de generación eléctrica “renovable” y plantas de hidrógeno verde, para demostrar la relevancia del océano para el funcionamiento de este ciclo productivo



Fuente: Elaboración propia.

²⁰ Estrategia nacional de Hidrógeno Verde en Chile (Ministerio de Energía, 2020).

En cuestiones del territorio, se observan desafíos y brechas principalmente por la falta en Chile de una gestión integrada de la zona costera (GIC), además la falta de planificación territorial genera cierto desconcierto que conlleva a conflictos ambientales por la sobre posición de múltiples actividades antropogénicas en un mismo territorio. Por otra parte, diferentes instituciones y normativas son utilizadas para administrar el espacio que ocupan las desalinizadoras, lo que complejiza y burocratiza, tanto la obtención de permisos ambientales para la construcción y operación, como la fiscalización, una vez que comienzan a funcionar. Es por lo tanto necesario, mejorar la gobernanza de las desalinizadoras para lograr la sostenibilidad ambiental de esta industria, asimismo, plantear políticas públicas y una regulación específica para el “uso sostenible” de la costa, de manera que haya una evolución desde los conceptos actuales que solo describen límites administrativos del territorio hacia otros que sean integrales, holísticos y que consideren el ambiente, la geografía y los ecosistemas asociados. Un avance en este sentido es la reciente incorporación de la definición de “zona costera” en la ley Marco de Cambio Climático, que la expone como *“el espacio o interfase dinámica de anchura variable dependiendo de las características geográficas donde interactúan los ecosistemas terrestres con los acuáticos, ya sean marinos o continentales o zona marítimo-terrestre”*.

Al momento de la publicación de este estudio, se encuentra en el congreso de Chile un proyecto de Ley de Costas que propone una Gestión integrada de la zona costera, que incluye el ordenamiento y la zonificación de esta zona, lo que incentiva la planificación y cómo se definirá la ubicación de las plantas desalinizadoras, considerando criterios de conservación ambiental, dinámica físico-química de la zona costera, usos preferentes, usos tradicionales de las comunidades costeras, así como los eventuales efectos a largo plazo bajo los escenarios de cambios globales. Esta planificación podría incorporar además el enfoque de gestión integrada de las cuencas hidrográficas, ya que las zonas costeras forman parte de estas cuencas, existiendo interrelaciones en el sentido de que las acciones que se realizan en un punto de la cuenca pueden tener efectos en todo el sistema fluvial, por lo que se podría asegurar el suministro sostenible de agua y la conservación de los ecosistemas acuáticos. Para llevar adelante este tipo de gestión es importante promover la coordinación y la colaboración entre los diferentes actores que comparten una cuenca hidrográfica, con el liderazgo del gobierno regional (o local) y que incluyan a las comunidades, los usuarios del agua y los grupos de interés. La GIC podría contemplar un enfoque basado en el ecosistema y en el paisaje, antes que, en las especies, recursos o hábitats, ya que el primero considera a las personas, naturaleza y sus interacciones como parte de un mismo sistema, mientras que el enfoque basado en el paisaje considera todas las diferentes funciones ecológicas, así como los valores, usos y necesidades humanas y las integra para obtener múltiples objetivos a la vez. La estrategia basada en el paisaje tiene las ventajas de que ayuda a comprender todos los factores en juego e identificar donde existen los conflictos, donde ocurrirán compensaciones y donde podrían trabajar juntos diferentes objetivos. Este tipo de enfoque se debe involucrar a todos los actores, comunidades, organizaciones y sectores que tienen interés en las decisiones que afectan la tierra, el agua y los recursos que los rodean.

Para mejorar la gobernanza de las desalinizadoras, se elaboró otro proyecto de ley Sobre el Uso del Agua de Mar para la Desalinización, que, a diferencia del proyecto de Ley de Costas, busca mejorar y facilitar las tramitaciones y obtenciones de permisos sectoriales para estas empresas. Sin embargo, uno de los temas de conflicto del proyecto, tiene que ver con la propiedad del agua desalinizada que se genera, ya que se cuestiona si debería ser un bien común de uso público, como es actualmente el agua del mar. La solución de este debate no es algo menor, ya que tiene que ver con la potencial privatización de este bien común, tal como pasa actualmente con las concesiones de agua terrestre normadas por el Código de aguas, que en su artículo 14 señala que el derecho a la utilización de aguas corresponde al propietario del predio en que se encuentren las fuentes de agua, salvo que exista una concesión vigente o que se trate de aguas subterráneas. Esta regulación ha sido objeto de críticas por parte de diversos sectores, que lo consideran un modelo que favorece la privatización del agua y la concentración de los derechos de uso en pocos actores. Si en el caso del mar, sucediera lo mismo, los dueños de las concesiones marinas tendrían la propiedad del agua, extendiendo ciertas falencias de la gestión hídrica nacional hacia esta nueva fuente, generando con ello un negocio con un elemento vital como es el agua, que es un derecho de todos.

Respecto a la normativa vigente, hasta la fecha no se ha implementado una estrategia nacional que busque resolver integralmente el problema hídrico del país, y que apunte a solucionar las brechas en la inversión en infraestructura y la gobernanza del agua continental. Para esto, se debería partir con la revisión de las asignaciones de los derechos de agua para privados y regular el mercado del agua. Esto depende de las voluntades y acuerdos políticos que tengan como fin priorizar el derecho humano al agua y que apunten a fortalecer la institucionalidad para la gestión integrada de cuencas, como por ejemplo mediante mesas multiactores, representativas y democráticas, de manera de mitigar el control de este recurso por parte de privados. Para el fortalecimiento y mejora de la gobernanza del recurso hídrico, es preciso plantear una institucionalidad de mayor jerarquía y que cuente con mayor financiamiento para afrontar la actual crisis hídrica y los futuros desafíos, que implican costos sociales, ambientales y económicos.

A partir del diagnóstico preliminar sobre la percepción de diferentes actores (expertos) involucrados en la temática de las desalinizadoras, se evidencia que existen miradas contrastantes frente a las plantas desalinizadoras como solución a la crisis hídrica, ya que hay quienes señalan que antes de incentivar esta solución, se debería elaborar un plan o estrategia hídrica nacional, en la cual se propongan primero otras soluciones que pueden ser económicamente más factibles, tales como la reutilización del agua de desecho, mejoramiento de la eficiencia en el uso del agua, educación ambiental, entre otros. Por otra parte, se encuentra un sector que propone que las desalinizadoras son la solución a los problemas hídricos y consideran prioritario la elaboración de normativas que permitan incentivar la inversión (considerando los altos costos financieros). A pesar de estas visiones, todos(as) se refieren a la necesidad urgente, de avanzar la discusión y aprobación del Proyecto de Ley de Desalinización en Chile. Sin embargo, según la mirada de diversos actores, está lejos de representar criterios comunes y acabados, da cuenta, mínimamente, de un marco regulatorio en aspectos relevantes hacia el desarrollo sostenible de esta industria. En la discusión de este proyecto se posicionan las preocupaciones en los principales efectos socioecológicos identificados, relacionados tanto con la captación de agua de mar como con el residuo de salmuera, así como con la apropiación y modificación a nivel de paisaje de la zona costera. Estas afectaciones dan cuenta de cambios socioculturales, despojo y pérdida de hábitat, tanto como de prácticas y saberes relacionadas a la pesca artesanal, el turismo a pequeña escala y las concepciones locales ligadas al mar, que derivan a una pérdida de identidad socio territorial. Las miradas interdisciplinarias se vuelven necesarias a la hora de abordar este complejo escenario, en la planificación, diseño, modulación y aprobación de planes que ayuden a articular leyes y proyectos en temáticas de cambio climático, adaptación hídrica y desarrollo. De esta manera, la participación no solo debiera ser consultiva, sino, vinculante, dando paso a procesos más profundos y exigentes de gobernanza para la aprobación de este tipo de proyectos de mega industria, que de alguna u otra manera, se diseñan de manera extractiva y que responden a dinámicas y lógicas hegemónicas de desarrollo económico. Prácticas que no solo quedan en el ámbito comercial, sino también de mitigación y compensación a los asentamientos más vulnerables y afectados por los impactos de esta industria.

Si bien, la necesidad por el agua es una preocupación a nivel mundial y nacional, los argumentos no pueden estar remitidos a una pronta solución que carezca de estudios, tecnología adecuada y responsabilidad medio ambiental y social. Entonces, es responsabilidad del Estado asegurar el recurso hídrico continental para el consumo humano, y aplicar principios precautorios en cuanto la falta de información y estudios en materia científica, ligada a los impactos y externalidades presentes en los ecosistemas marinos.

Por último, este estudio concluye que resulta fundamental, la incorporación de las comunidades locales aledañas en la discusión de las plantas desalinizadoras en Chile, tanto de las que abastecen a la industria minera, como las multipropósito. Estas comunidades pueden aportar con criterios y experiencias en términos de la convivencia, biofísicos, socio culturales, con estos proyectos de gran escala, lo que enriquecerá sin lugar a duda, las principales discusiones en este tema, visualizando las miradas de todos los actores involucrados en la problemática estudiada.

Bibliografía

- Abushaban, A. (2020), *Assessing Bacterial Growth Potential in Seawater Reverse Osmosis Pretreatment: Method Development and Applications*, (1st ed.). London, CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003021940>.
- Acosta V, Lodeiros C y Senior W. (2002), Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia* 27: 686-690.
- Ahmed, M., Shayya, W. H., Hoey, D., Mahendran, A., Morris, R., y Al-Handaly, J. (2000), Use of evaporation ponds for brine disposal in desalination plants. *Desalination*, 130(2), 155–168. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(00\)00083-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(00)00083-7).
- Ahmed, M., Shayya, W. H., Hoey, D., y Al-Handaly, J. (2001), Brine disposal from reverse osmosis desalination plants in Oman and the United Arab Emirates. *Desalination*, 133(2), 135–147. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)80004-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)80004-7).
- Ahmed, M., Arakel, A., Hoey, D., Thumarukudy, M. R., Goosen, M. F. A., Al-Haddabi, M., y Al-Belushi, A. (2003), Feasibility of salt production from inland RO desalination plant reject brine: A case study. *Desalination*, 158(1–3), 109–117. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(03\)00441-7](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(03)00441-7).
- Altmann, T., Bouma, A.T., Roberts, J., Swaminathan, J., Lienhard J.H. (2019), A Comparison of Desalination Technologies on the Basis of Primary Energy Consumption, IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, Dubai, UAE, 20–24 Oct. 2019. IDA Ref. No. IDAWC19-Altman. <https://hdl.handle.net/1721.1/141350>.
- ANZECC (1992), *Australian Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters*. National Water Quality Management Strategy.
- Barragán J.M, de Andrés M. (2015), Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations, *Ocean y Coastal Management*, 114, 11-20, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.004>.
- Barnthouse L. (2004), *Extrapolating Impingement and Entrainment Losses to Equivalent Adults and Production foregone*, EPRI, Palo Alto, CA: 2004. 1008471.
- Belkin, N., Kress, N., y Berman-Frank, I. (2018), Microbial Communities in the Process and Effluents of Seawater Desalination Plants. In *Sustainable Desalination Handbook: Plant Selection, Design and Implementation*, Veera Gnaneswarar Gude (eds). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809240-8.00012-5>.
- Benaissa, M., Rouane-Hacene, O., Boutiba, Z., Habib, D., Guibbolini-Sabatier, M.E., Risso-De Faverney, C. (2020), Ecotoxicological effects assessment of brine discharge from desalination reverse osmosis plant in Algeria (South Western Mediterranean). *Reg. Stud. Mar. Sci.* 39, 101407. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101407>.

- Birkett, J., (2011), Desalination at a glance. International Desalination Association, USA. <https://idadesal.org/wp-content/uploads/2021/06/desalination-at-a-glance.pdf>.
- Birkett, J.D. (2010), History, Development and Management of Water Resources—Vol. I. The History of Desalination before Large-Scale Use; EOLSS Publications: New Delhi, India.
- Bleninger, T., y Jirka, G. H. (2008), Modelling and environmentally sound management of brine discharges from desalination plants. *Desalination*, 221(1), 585–597. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.059>.
- Bravo R., Díaz H., Herrera M y López E. (2019), Ecosistemas Marinos y del Borde Costero, Capítulo 6, in Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile 2018. Instituto de Asuntos Públicos. (Gligo, N Ed) 319-457. Universidad de Chile.
- Buros, O.K., n.d. Summary of desalination methods used in common practice, in: History, Development and Management of Water Resources. (DESWARE), Encyclopedia of Desalination and Water Resources.
- B2B Media Group (2022), Catastro de Plantas Desalinizadoras y Sistemas de Impulsión de Agua de Mar en Chile 2022-2023.
- Calderón, C y Valdés, J. (2012), Contenido de metales en sedimentos y organismos bentónicos de la bahía San Jorge, Antofagasta, Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* Vol. 47, N°1: 121-133. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572012000100011>.
- Clark, G.F., Knott, N. A., Miller, B.M., Kelaher, B.P., Coleman, M.A., Ushiyama, S., y Johnston, E.L. (2018), First large-scale ecological impact study of desalination outfall reveals trade-offs in effects of hypersalinity and hydrodynamics. *Water Research*, 145, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.08.071>.
- Cochilco (2022), Proyecciones de consumo de energía eléctrica y agua en la minería del cobre al 2032. Dir. Estud. y Políticas Públicas DEPP.
- _____(2020), Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2020-2031. Dir. Estud. y Políticas Públicas DEPP 27/20, 1–36.
- Cornejo, P.K., Santana, M.V.E., Hokanson, D.R., Mihelcic, J.R. y Zhang, O. (2014), Carbon footprint of water reuse and desalination: a review of greenhouse gas emissions and estimation tools. *Journal of Water Reuse and Desalination* 1: 4 (4): 238–252. Doi: <https://doi.org/10.2166/wrd.2014.058>.
- Curto D, Franzitta y Guercio A (2021), A review of the water desalination technologies. *Appl. Sci.* 11, 1–36. <https://doi.org/10.3390/app11020670>.
- Danoun R. (2007), *Desalination Plants: Potential impacts of brine discharge on marine life* (p. 59). Retrieved from <https://ses.library.usyd.edu.au/handle/2123/1897>.
- Darre, N., Torr, G. (2018), Desalination of Water: A Review. *Current Pollution Reports* (2018) 4:104–111 <https://doi.org/10.1007/s40726-018-0085-9>.
- Dawoud MA y Al Mulla MM. (2012), *International Journal of Environment and Sustainability*, 3 (2012), pp. 22-37.
- Dévora-Isiordia GE, González-Enríquez R, Ruiz-Cruz S (2013). *Tecnología y Ciencias del Agua. Tecnol. y ciencias del agua* 4, 27–46.
- De-la-Ossa-Carretero, J.A., Del-Pilar-Ruso, Y., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, L.M., Marco-Méndez, C., Martínez-García, E., y Sánchez-Lizaso, J.L. (2016), Response of amphipod assemblages to desalination brine discharge: Impact and recovery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 172, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.01.035>.
- Del-Pilar-Ruso, Y., Martínez-García, E., Giménez-Casalduero, F., Loya-Fernández, A., Ferrero-Vicente, L.M., Marco-Méndez, C. y otros (2015), Benthic community recovery from brine impact after the implementation of mitigation measures. *Water Research*, 70, 325–336. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.036>.
- DGA (2016), *Gestión del agua. Atlas del Agua Chile 2016* 30.
- DIRECTEMAR (2021), *Guía para la evaluación ambiental de proyectos industriales de desalación en jurisdicción de la autoridad marítima*. 64 pp.
- Do Thi, H.T., Pasztor, T., Fozer, D., Manenti, F y Toth, A.J. (2021), Comparison of Desalination Technologies Using Renewable Energy Sources with Life Cycle, PESTLE, and Multi-Criteria Decision Analyses. *Water* 2021, 13, 3023. <https://doi.org/10.3390/w13213023>.
- Dupavillon, J., Gillanders, B.M. (2009), Impacts of seawater desalination on the giant Australian cuttlefish *Sepia apama* in the upper Spencer Gulf, South Australia. *Marine Environmental Research* 67(4-5):207-18. DOI: 10.1016/j.marenvres.2009.02.002.
- Echeverría K. S (2017), El acceso al agua de mar para la desalinización. *Revista de derecho (Concepción)*, 85(241), 127-152. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-591X2017000100127>.

- Eke, J., Yusuf, A., Giwa, A., Sodiq, A. (2020), The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants, and capacity. *Desalination* 495, 114-633.
- Ekman, V. M. (1905), On the influence of the Earth's rotation on ocean currents, *Arkiv for Matematik. Astronomi, och Fysik*, 2, 11.
- Einav, R., Harussi, K., y Perry, D. (2002), The footprint of the desalination processes on the environment. *Desalination*, 152(1-3), 141-154. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)01057-3](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)01057-3).
- Elazzaoui A., Moukrim A., y Lefrere L. (2019), A multibiomarker approach to assess the health state of coastal ecosystem receiving desalination plants in Agadir Bay Morocco. *The Scientific World Journal*, Article ID 5875027, pp. 1-9, <https://doi.org/10.1155/2019/5875027>.
- Elsaid, K., Kamil, M., Sayed, E.T., Abdelkareem, M. A., Wilberforce, T., y Olabi, A. (2020), Environmental impact of desalination technologies: A review. *Science of The Total Environment*, 748, 141528. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141528>.
- FAO and UN Water. (2021), Progress on Level of Water Stress. Global status and acceleration needs for SDG Indicator 6.4.2, Rome. <https://doi.org/10.4060/cb6241en>.
- Fernández-Torquemada, Y., Carratalá, A. y Sánchez Lizaso J.L (2019), Impact of brine on the marine environment and how it can be reduced. *Desalination and water treatment*, 167, 27-37. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24615>.
- Fernández-Torquemada, Y. (2012), Efectos de las variaciones de salinidad sobre angiospermas marinas y su aplicación a los vertidos de plantas desalinizadoras. Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=44810>.
- Fernández-Torquemada, Y., González-Correa J. M., y Sánchez-Lizaso J. L. (2013), Echinoderms as indicators of brine discharge impacts. *Desalination and Water Treatment*, 51(1-3), 567-573. <https://doi.org/10.1080/19443994.2012.716609>.
- Ferrada A, Christie D, Muñoz F, González A, Garreaud RD y Bustos S (2021), Explorador del Atlas de Sequías de Sudamérica, <https://sada.cr2.cl>. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2. doi.org/10.13140/RG.2.2.14020.35209l.
- FIPA (2016), Implementación de la metodología de Estimación del Impacto por Succión de recursos hidrobiológicos para proyectos sometidos al SEIA: aspectos de diseño ingenieril industrial y biológico asociados a la captación de agua en procesos industriales. Proyecto FIPA-2016-53, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura, Gobierno de Chile.
- Frank, H., Fussmann, K., Rahav, E., Zeev, E.B. (2019), Chronic effects of brine discharge from large-scale seawater reverse osmosis desalination facilities on benthic bacteria. *Water Research* 151: 478-487. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.12.046>.
- Fuenzalida R., Schneider W., Garcés-Vargas J., Bravo L. y Lange, C., (2008), Vertical and horizontal extension of the oxygen minimum zone in the eastern South Pacific Ocean. *Deep-Sea Research II (special volume, The oceanography of the eastern South Pacific II: the oxygen minimum zone)*. doi: 10.1016/j.dsr2.2008.11.001.
- Gacia, E., Invers, O., Manzanera, M., Ballesteros, E., y Romero, J. (2007), Impact of the brine from a desalination plant on a shallow seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 72(4), 579-590. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.11.021>.
- García-Bartolomei, E.; Vásquez, V.; Rebolledo, G.; Vivallo, A.; Acuña-Ruz, T.; Rebolledo, J.; Orrego, R. y Barra, R.O. (2022), Defining Priority Areas for the Sustainable Development of the Desalination Industry in Chile: A GIS Multi criteria Analysis Approach. *Sustainability*, 14, 7772. <https://doi.org/10.3390/su14137772>.
- Garreaud, R., Aldunce, P., Araya, G., Blanco, G., Boisier, J.P., Bozkurt, D., Carmona, A., Christie, D., Farías, L., Gallardo, L., Galleguillos, M., González, M., Herrera, P., Huneeus, N., Jiménez, D., Lara, A., Latoja, D., Lillo, G., Masotti, Í., Moraga, P., Nahuelhual, L., Paredes, P., Ossandón, J., Rojas, M., Urquiza, A., Yévenes, M., Zambrano, M., (2015), Informe a la nación. La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. *Inf. a la Nación* 28.
- GCWDA (2019), Communiqué at the 25 th Conference of the Parties of the United Nations Convention for Climate Change (UNFCCC) in Madrid: Water stress due to climate change: At COP 25, the Global Clean Water Desalination Alliance calls for the decarbonization of desalination and making it affordable for all.
- Gelcich, S., Martínez-Harms, M.J., Tapia-Lewin, S., Vasquez-Lavin, F., Ruano-Chamorro, C. (2019), Comanagement of small-scale fisheries and ecosystem services. *Conservation Letters* 12: e12637.

- Giwa, A., Dufour, V., Al Marzooqi, F., Al Kaabi, M., y Hasan, S. W. (2017), Brine management methods: Recent innovations and current status. *Desalination*, 407, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.12.008>.
- GIZ (2020), Identificación de zonas para el desarrollo de proyectos integrales de agua y energía, Centro de Energía Universidad de Chile, Ministerio de Energía. Santiago de Chile, 118 pp.
- Glueckstern, P. y Priel, M. (1997), Optimized brackish water desalination plants with minimum impact on the environment. *Desalination*, 108(1), 19–26. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(97\)00004-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(97)00004-0).
- Guber, R (2012), La etnografía: Método, campo, y reflexividad. 1a Edición, Buenos Aires: Siglo XXI.
- Gude, V.G. (2016), Desalination and sustainability—An appraisal and current perspective. *Water Res.*, 89, 87–106.
- Guguin P., Carel G. (2011), Environmental protection and sustainability: Perth Sea Water Desalination Plant experience. IDA Desalination Industry Action for Good/Santa Margherita, Portofino, Italy May 16-18.
- Guzmán-Agüero, J. E., Nieves-Soto, M., Hurtado, M. Á., Piña-Valdez, P., & Garza-Aguirre, M. del C. (2013), Feeding physiology and scope for growth of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) acclimated to different conditions of temperature and salinity. *Aquaculture International*, 21(2), 283–297. <https://doi.org/10.1007/s10499-012-9550-4>.
- Hao R., Yu D., Liu Y., Liu Y., Qiao J., Wang X., Du J. (2017), Impacts of changes in climate and landscape pattern on ecosystem services *Sci. Total Environ.*, 579, pp. 718-728.
- Hogan, T. W. (2015), Impingement and Entrainment at SWRO Desalination Facility Intakes. In T. M. Missimer, B. Jones y R. G. Maliva (Eds.), *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities* (pp. 57–78). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-13203-7_4.
- Hoekstra A., Mekonnen M. (2011), The water footprint of humanity. *PNAS* 109(9) 3232-3237 www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1109936109.
- Hoekstra AY, Mekonnen MM, Chapagain AK, Mathews RE, Richter BD (2012), Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. *PLoS ONE* 7(2): e32688. doi: 10.1371/journal.pone.0032688.
- Iriarte J.L, Pantoja S., Daneri G. (2014), Oceanographic Processes in Chilean Fjords of Patagonia: From small to large-scale studies. *Progress in Oceanography* 129: 1-7.
- IHA y CEDEX (2011), Metodología de diseño de los vertidos al mar de la salmuera, para reducir el impacto ambiental de las plantas desalinizadoras (MEDVSA). Instituto Ambiental de Hidráulica de Cantabria y el Centro de Estudios de Puertos y Costas.
- IPCC (2021), *Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2021: The Physical Science Basis.*
- IRENA, (2012), *Water Desalination Using Renewable Energy. IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief I12.*
- Iso, S., Suizu, S., y Maejima, A. (1994), The lethal effect of hypertonic solutions and avoidance of marine organisms in relation to discharged brine from a destination plant. *Desalination*, 97(1), 389–399. [https://doi.org/10.1016/0011-9164\(94\)00102-2](https://doi.org/10.1016/0011-9164(94)00102-2).
- Jenkins S., Paduan J., Roberts P., Schlenk D., Weis J. (2012), *Management of Brine Discharges to Coastal Waters Recommendations of a Science Advisory Panel. Technical Report 694, Southern California Coastal Water Research Project Costa Mesa, CA.*
- Jones, B. (2015), Overview of Coastal Discharges for Brine, Heat and Wastewater. In T. M. Missimer, B. Jones, y R. G. Maliva (Eds.), *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities* (pp. 363–367). Cham: Springer International Publishing.
- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T. H., Smakhtin, V., y Kang, S. (2019), The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of The Total Environment*, 657, 1343–1356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>.
- Katal, R., Shen, T.Y., Jafari, I., Masudy-Panah, S., y Farahani, M. H. D. A. (2020), An Overview on the Treatment and Management of the Desalination Brine Solution. *Desalination - Challenges and Opportunities. IntechOpen.* <https://doi.org/10.5772/intechopen.92661>.
- Kelley, A. (2011), A Call For Consistency: Open Seawater Intakes, Desalination, And The California Water Code. *Golden Gate University Environmental Law Journal*, 4(2). Retrieved from <https://digitalcommons.law.ggu.edu/gguelj/vol4/jiss2/5>.
- Kenigsberg C, Abramovich S, Hyams- Kaphzan O (2020), The effect of long-term brine discharge from desalination plants on benthic foraminifera. *PLoS ONE* 15(1): e0227589. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227589>.

- Kim J., Park K., Yang D., Hong S. (2019), A comprehensive review of energy consumption of seawater reverse osmosis desalination plants. *Applied Energy* 254 113652.
- Kupsco, A., Sikder, R., & Schlenk, D. (2017), Comparative Developmental Toxicity of Desalination Brine and Sulfate-Dominated Saltwater in a Euryhaline Fish. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 72(2), 294–302. <https://doi.org/10.1007/s00244-016-0354-9>.
- Kühn, R. y Pattard, M. (1990), Results of the harmful effects of water pollutants to green algae (*Scenedesmus subspicatus*) in the cell multiplication inhibition test, *Water Research* 24(1) 31-38, [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(90\)90061-A](https://doi.org/10.1016/0043-1354(90)90061-A).
- Lattemann, S., y Höpner, T. (2008), Environmental impact and impact assessment of seawater desalination. *Desalination*, 220(1–3), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.03.009>.
- Laudien J., Rojo M., Oliva M.E., Arntz W.E., Thatje S. (2007), Sublittoral soft bottom communities and diversity of Mejillones Bay in northern Chile (Humboldt Current upwelling system). *Helgol Mar Res.* 61:103–116. DOI:10.1007/s10152-007-0057-8.
- Latorre, M. (2005), Environmental impact of brine disposal on *Posidonia* seagrasses. *Desalination*, 182(1–3), 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.02.039>.
- Lee, M.R., Correa, J.A., Zhang, H. (2002), Effective metal concentrations in porewater and seawater labile metal concentrations associated with copper mine tailings disposal into the coastal waters of the Atacama region of northern Chile. *Marine Pollution Bulletin* 42: 703-704.
- Le Quesne, W. J. F., Fernand, L., Ali, T. S., Andres, O., Antonpoulou, M., Burt, J. A., y otros, (2021), Is the development of desalination compatible with sustainable development of the Arabian Gulf? *Marine Pollution Bulletin*, 173, 112940. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112940>.
- Le Roux, M. (2010), Investigation Of Marine Components Of Large Direct Seawater Intake y Brine Discharge Systems For Desalination Plants, Towards Development Of A General Design Approach. Stellenbosch University.
- Loganathan P., Naidu G., Vigneswaran S. (2017), Mining valuable minerals from seawater: a critical review. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 3, 37. DOI: 10.1039/c6ew00268d.
- Loya-Fernández, Á., Ferrero-Vicente, L. M., Marco-Méndez, C., Martínez-García, E., Zubcoff, J., y Sánchez-Lizaso, J. L. (2012), Comparing four mixing zone models with brine discharge measurements from a reverse osmosis desalination plant in Spain. *Desalination*, 286, 217–224. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.11.026>.
- Martínez C., Martínez I., Paredes Ch., Cienfuegos R. (2020), ¿Por qué Chile necesita una ley de costas Hacia una nueva gobernanza de la costa para el siglo XXI. Serie Policy Papers CIGIDEN.
- Mekonnen M. y Hoekstra A. (2016), Four billion people facing severe water scarcity *Sci. Adv.* 2. e1500323.
- Meyerson A, G Luther, J Krajewski y E Hires. (1981), Heavy metals distribution in Newark Bay sediments. *Marine Pollution Bulletin* 12: 244-250.
- Missimer, T. M., y Maliva, R. G. (2018), Environmental issues in seawater reverse osmosis desalination: Intakes and outfalls. *Desalination*, 434, 198–215. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.07.012>.
- Missimer, T. M., Jones, B., y Maliva, R. G. (Eds.). (2015), Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13203-7>.
- Montecino V., Lange C.B. (2009), The Humboldt Current System: Ecosystem components and processes, fisheries, and sediment studies, *Progress in Oceanography*, Volume 83, Issues 1–4.
- MOPU (1988), Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. BOE 209. BOE-A-1988-20883.
- Morales C., Braun M., Reyes H., Blanco J.L., Davies A.G. (1996), Anchovy larval distribution in the coastal zone off northern Chile: the effect of low dissolved oxygen concentrations and of a cold-warm sequence (1990-95). *Invest. Mar., Valparaíso*, 24: 77-96.
- Morales, C. E., Hormazábal, S. E., y Blanco, J. L. (1999), Interannual variability in the mesoscale distribution of the depth of the upper boundary of the oxygen minimum layer off northern Chile (18-24S): Implications for the pelagic system and biogeochemical cycling. *Journal of Marine Research*, 57(6), 909-932. <https://doi.org/10.1357/002224099321514097>.
- Nabavi, S. M. B., Miri, M., Doustshenas, B., Safahieh, A. R. y Loghmani, M. (2013), Effects of a brine discharge over bottom polychaeta community structure in Chabahar Bay. *Journal of Life Sciences*, 7(3), 302.

- Nasr, H., Yousef, M., & Madkour, H. (2019), Impacts of Discharge of Desalination Plants on Marine Environment at the Southern Part of the Egyptian Red Sea Coast (Case Study). *International Journal of Ecotoxicology and Ecobiology*, 4(3), 66. <https://doi.org/10.11648/j.ijee.20190403.12>.
- Naveh, Zev. (2012), Ecosystem and Landscapes—A Critical Comparative Appraisal. *Journal of Landscape Ecology*, vol. 3, no. 1, pp. 64–81. <https://doi.org/10.2478/v10285-012-0024-1>.
- Nichols C.R., Zinnert J. y Young D. (2019), Degradation of coastal ecosystems: causes, impacts and mitigation efforts. In: *Tomorrow's Coasts: Complex and Impermanent*. Eds. Wright L, Nichols C.R. Coastal Research Library 27 DOI: 10.1007/978-3-319-75453-6_8.
- Omerspahic, M., Al-Jabri, H., Siddiqui, S.A. y Saadaoui, I., (2022), Characteristics of Desalination Brine and Its Impacts on Marine Chemistry and Health, With Emphasis on the Persian/Arabian Gulf: A Review. *Front. Mar. Sci.* 9, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.845113>.
- Orostizaga Salinas, E.L. (2018), Diseño preliminar de captaciones costeras de agua de mar—aplicación en la costa central y norte de Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile. 140 pp.
- Palma, W., Escribano, R. y Rosales, S.A. (2006), Modeling study of seasonal and inter-annual variability of circulation in the coastal upwelling site of the El Loa River off northern Chile. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 67, 93–107.
- Palomar, P., Lara, J. L., Losada, I. J. (2012), Near field brine discharge modelling Part 2: Validation of commercial tools. *Desalination*, 290. 28–42.
- Patricio Martinez, (2021), Entrevista a Director de ALADYR. (<https://www.youtube.com/watch?v=TJTBmsttfq8yt=32s> [visitada el 15 de febrero 2023]).
- Pankratz, T. (2015), Overview of Intake Systems for Seawater Reverse Osmosis Facilities. In T. M. Missimer, B. Jones, y R. G. Maliva (Eds.), *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities* (pp. 3–17). Cham: Springer International Publishing.
- Petersen, K. L., Frank, H., Paytan, A., y Bar-Zeev, E. (2018), Chapter 11—Impacts of Seawater Desalination on Coastal Environments. In V. G. Gude (Ed.), *Sustainable Desalination Handbook* (pp. 437–463). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809240-8.00011-3>.
- Pistocchi, A., Bleninger, T., Breyer, C., Caldera, U., Dorati, C., Ganora, D., y otros, (2020), Can seawater desalination be a win-win fix to our water cycle? *Water Research*, 182, 115906. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115906>.
- Podbielski, I., Hiebenthal, C., Hajati, M.-C., Bock, C., Bleich, M., y Melzner, F. (2022), Capacity for Cellular Osmoregulation Defines Critical Salinity of Marine Invertebrates at Low Salinity. *Frontiers in Marine Science*, 9, 898364. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.898364>.
- Raventos, N., Macpherson, E., y García-Rubiés, A. (2006), Effect of brine discharge from a desalination plant on macrobenthic communities in the NW Mediterranean. *Marine Environmental Research*, 62(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2006.02.002>.
- Resgalla Jr, C., Brasil, E. de S., & Salomão, L. C. (2007), The effect of temperature and salinity on the physiological rates of the mussel *Perna perna* (Linnaeus 1758). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(3), 543–556. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000300019>.
- Riera, R., Tuya, F., Ramos, E., Rodríguez, M. y Monterroso, Ó. (2012), Variability of macrofaunal assemblages on the surroundings of a brine disposal. *Desalination*, 291, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.02.003>.
- Ritchie H. y Roser M. (2017), "Water Use and Stress". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/water-use-stress> [visitada el 15 de febrero 2023].
- Roberts, D. A., Johnston, E. L., y Knott, N. A. (2010), Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: A critical review of published studies. *Water Research*, 44(18), 5117–5128. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.04.036>.
- Rodríguez-Rojas F., López-Marras A., Celis-Plá P., Muñoz P., García-Bartolomei E., Valenzuela F., Orrego R., Carratalá A., Sánchez-Lizaso J.L y Sáez C.A. (2020), Ecophysiological and cellular stress responses in the cosmopolitan brown macroalga *Ectocarpus* as biomonitoring tools for assessing desalination brine impacts. *Desalination*, Volume 489, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114527>.
- Rojas P.M. y Landaeta M.F. (2014), Fish larvae retention linked to abrupt bathymetry at Mejillones Bay (northern Chile) during coastal upwelling events *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 42(5): 989–1008. DOI: 10.3856/vol42-issue5-fulltext-6.

- Saavedra, A., Valdés, H., Mahn, A. y Acosta, O., (2021), Comparative analysis of conventional and emerging technologies for seawater desalination: Northern Chile as a case study. *Membranes* (Basel). 11. <https://doi.org/10.3390/membranes11030180>.
- Saavedra, L.M. y Vargas, C. (2020), Sistema costero adyacente a la cuenca del Biobío. EULA-Chile Centro de Ciencias Ambientales: Evolución y perspectivas a 30 años de su creación. Universidad de Concepción, 363 pp. <http://www.eula.cl/wp-content/uploads/2020/04/LIBRO-30%C3%91OS-EULA.pdf>.
- Sadhwani Alonso, J. J. y Melián-Martel, N. (2018), Environmental Regulations—Inland and Coastal Desalination Case Studies. In *Sustainable Desalination Handbook* (pp. 403–435). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809240-8.00010-1>.
- Saldías G., Sobarzo M. y Quiñones R. (2019), Freshwater structure and its seasonal variability off western Patagonia. *Progress in Oceanography* 174: 143–153. DOI: 10.1016/j.pocean.2018.10.014.
- Sánchez-Lizaso, J. L., Romero, J., Ruiz, J., Gacia, E., Buceta, J. L., Invers, O. y otros. (2008), Salinity tolerance of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: recommendations to minimize the impact of brine discharges from desalination plants. *Desalination*, 221(1–3), 602–607. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.119>.
- SEA (2017), Guía sobre el Área de Influencia en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Servicio de Evaluación Ambiental, Gobierno de Chile.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2020), Ecologically or Biologically Significant Marine Areas (EBSAs). Special places in the world's oceans. Volume 5: Eastern Tropical and Temperate Pacific Ocean. 69 pag.
- Shaaban, S. y Yahya, H. (2017), Detailed analysis of reverse osmosis systems in hot climate conditions, *Desalination*, 423, 41–51, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.09.002>.
- Shahzad M.W., Burhan M., Ang L. y Ng K.C. (2017), Energy-water-environment nexus underpinning future desalination sustainability, *Desalination* 413, 52–64.
- Shahzad M.W., Burhan M. y Kim Choon Ng. (2017), Pushing desalination recovery to the maximum limit: Membrane and thermal processes integration, *Desalination* 416, 54–64, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.04.024>.
- Sharifinia M., Keshavarzifard M., Hosseinkhezri P., Khanjani M.H., Yap Ch.K, Smith W.O., Daliri M. y Haghshenas A. (2022), The impact assessment of desalination plant discharges on heavy metal pollution in the coastal sediments of the Persian Gulf, *Marine Pollution Bulletin* 178, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113599>.
- Shrivastava, I., y Adams, E. E. (2021), Desalination Brine Management: Effect on Outfall Design. Pathways and Challenges for Efficient Desalination. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99180>.
- Sola, I., Sánchez-Lizaso, J. L., Muñoz, P. T., García-Bartolomei, E., Sáez, C. A., y Zarzo, D. (2019), Assessment of the Requirements within the Environmental Monitoring Plans Used to Evaluate the Environmental Impacts of Desalination Plants in Chile. *Water*, 11(10), 2085. <https://doi.org/10.3390/w11102085>.
- Somero, G. N., Lockwood, B. L., y Tomanek, L. (2017), *Biochemical Adaptation: Response to Environmental Challenges from Life's Origins to the Anthropocene* (1st edition). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Press.
- Squire, D., Murrer, J., Holden, P., y Fitzpatrick, C. (1997), Disposal of reverse osmosis membrane concentrate. *Desalination*, 108(1), 143–147. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(97\)00019-2](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(97)00019-2)
- Strub, P.T., Mesías J.M., Montecino, V., Rutllant J. y Salinas, S. (1998), Chapter 10: Coastal ocean circulation off Western South America. In *The Sea*, vol II. Robinson A.R y Brink, K.H eds. John Wiley & Sons, Inc.
- Strub, P.T., James, C., Montecino, V., Rutllant, J.A. y Blanco, J.L. (2019), Ocean circulation along the southern Chile transition region (38°–46°S): Mean, seasonal and interannual variability, with a focus on 2014–2016, *Progress in Oceanography*, 172, 159–198, <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2019.01.004>.
- Szeptycki, L., E. Hartge, N. Ajami, A. Erickson, W. N. Heady, L. LaFeir, B. Meister, L. Verdone, y J.R. Koseff, (2016), Marine and coastal impacts of ocean desalination in California Dialogue report compiled by Water in the West, Center for Ocean Solutions, Monterey Bay Aquarium and The Nature Conservancy, Monterey, CA.
- Taslina K., Md Al-Emran, Mohammad Shadiqur Rahman, Javed Hasan, Zannatul Ferdous, Md Fazle Rohani y Md Shahjahan (2022), Impacts of heavy metals on early development, growth and reproduction of fish – A review, *Toxicology Reports*, Volume 9 <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2022.04.013>.

- Thiel, M., Macaya, E.C., Acuña, E., Arntz, W.E., Bastias, H., Brokordt, K., Camus, P.A., Castilla, J.C., Castro, L.R., Cortés, M., Dumont, C.P., Escribano, R., Fernandez, M., Gajardo, J.A., Gaymer, C.F., Gomez, I., González, A.E., González, H.E., Haye, P.A., Illanes, J.-E., Iriarte, J.L., Lancellotti, D.A., Luna-Jorquera, G., Luxoro, C., Manriquez, P.H., Marín, V., Muñoz, P., Navarrete, S.A., Perez, E., Poulin, E., Sellanes, J., Sepúlveda, H.H., Stotz, W., Tala, F., Thomas, A., Vargas, C.A., Vasquez, J.A., Vega, J.M.A., Gibson, R.N., Atkinson, R.J.A. y Gordon, J.D.M., (2007), The Humboldt current system of northern and central Chile. Oceanographic processes, ecological interactions, and socioeconomic feedback. *Ocean. Mar Biol Annu Rev* 45, 195–344.
- Thimmaraju, M., Sreepada, D., Babu, G. S., Dasari, B. K., Velpula, S. K., y Vallepu, N. (2018), Desalination of Water. In M. Eyvaz, y E. Yüksel (Eds.), *Desalination and Water Treatment*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.78659>.
- Tsiourtis, N. X. (2008), Criteria and procedure for selecting a site for a desalination plant. *Desalination*, 221(1–3), 114–125. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.073>.
- Ulloa R., Vargas A., Hudson C. y Rivadeneira M. (2013), Zonificación del área marina costera protegida de múltiples usos de la península de Mejillones, norte de Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 41(3): 506-518.
- UNESCO, UN-Water (2020), *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*, Paris, UNESCO.
- USEPA (1986), *Quality Criteria for Water ("Gold Book")*: Office of Water Regulations and Standards, EPA-440/5-86-001, USEPA, Washington DC.
- Valero A., Uche, J. y Serra L. (2001), *La Desalación Como alternativa al PHN*. Presidencia del Gobierno de Aragón. <https://www.uv.es/choliz/Desalacion.pdf> [revisado el de febrero 2023].
- Viana Ríos V. (2018), Minería en América Latina y el Caribe, un enfoque socioambiental. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica* 21 (2): 617 – 637.
- Vicuña, S., Daniele, L., Farías, L., González, H., Marquet, P.A., Palma-Behnke, R., Stehr, A., Urquiza, A., Wagemann, E., Arenas-Herrera, M. J., Bórquez, R., Cornejo-Ponce, L., Delgado, V., Etcheberry, G., Fragkou, M. C., Fuster, R., Gelcich, S., Melo, O., Monsalve, T. y Winckler, P. (2022), *Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile*. Comité Asesor Ministerial Científico sobre Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Gobierno de Chile.
- Villacorte, L., Tabatabai S.A. A, Anderson D, Amy G., Schippers J. y Kennedy M.D. (2015), Seawater reverse osmosis desalination and (harmful) algal blooms, *Desalination* 360, 61-80. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.01.007>.
- Vivanco Font, E (2017), *Impacto Ambiental de Desalinización de Agua de Mar*. *Bibl. del Congr. Nac.*
- Voorhees, J. P., Phillips, B. M., Anderson, B. S., Siegler, K., Katz, S., Jennings, L., et al. (2013), Hypersalinity Toxicity Thresholds for Nine California Ocean Plan Toxicity Test Protocols. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 65(4), 665–670. <https://doi.org/10.1007/s00244-013-9931-3>.
- Voutchkov, N. (2011), *Desalination Plant Intakes–Impingement and Entrainment–Impacts and Solutions*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2604.5848>.
- _____. (2009), Salinity tolerance evaluation methodology for desalination plant discharge. *Desalination and Water Treatment*, 1(1–3), 68–74. <https://doi.org/10.5004/dwt.2009.126>
- Winkler P. (2021), *Guía Para El Modelado De La Hidrodinámica Y Del Proceso De Mezcla De Descargas Salinas Y Térmicas Asociadas A Proyectos De Plantas Termoeléctricas Y Desalinizadoras*. Departamento de Protección del Medio Ambiente Acuático, Respuesta a la Contaminación y Cambio Climático. Dirección de Intereses Marítimos y Medio Ambiente Acuático. Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante, 61 pp.
- WMO (2021), *State of the Climate in Latin America and the Caribbean*. World Meteorological Organization (WMO) No. 1295.
- Xevgenos, D., Moustakas, K., Malamis, D., y Loizidou, M. (2016), An overview on desalination y sustainability: renewable energy-driven desalination and brine management. *Desalination and Water Treatment*, 57(5), 2304–2314. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.984927>.
- Yoon, S. J., & Park, G. S. (2011), Ecotoxicological effects of brine discharge on marine community by seawater desalination. *Desalination and Water Treatment*, 33(1–3), 240–247. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.2644>.
- Younos, T. y Tulou, K.E., (2009), Overview of Desalination Techniques. *J. Contemp. Water Res. Educ.* 132, 3–10. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704x.2005.mp132001002.x>.

Anexos

Anexo 1

Normativas que regulan las plantas desalinizadoras en Chile

Cuadro A1
Resumen de las normativas asociadas a la regulación de plantas desalinizadoras en Chile, 2022

Normativa	Ley, Documento, Artículo	Indicación	Organismo	Observaciones
Constitución política de Chile	Artículo 19, N°8	Reconoce como un derecho fundamental el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación.	Ministerio Secretaría General de la Presidencia	
	Artículo 21	Derecho a desarrollar cualquier actividad económica que no sea contraria a la moral, al orden público y a la seguridad nacional, siempre que se respeten las normas legales que regulen dicha actividad.		
	Artículo 24	El derecho de propiedad, en sus diversas especies, sobre toda clase de bienes corporales e incorporales.		
	Artículo 20	Recurso de protección frente a actos u omisiones arbitrarias o ilegales que importen privación, perturbación o amenaza en el legítimo ejercicio de estos.		
Código Civil	Artículo 593	El mar adyacente, hasta la distancia de doce millas marinas medidas desde las respectivas líneas de base, es mar territorial y de dominio nacional. Pero, para objetos concernientes a la prevención y sanción de las infracciones de sus leyes y reglamentos aduaneros, fiscales, de inmigración o sanitarios, el Estado ejerce jurisdicción sobre un espacio marítimo denominado zona contigua, que se extiende hasta la distancia de veinticuatro millas marinas, medidas de la misma manera. Las aguas situadas en el interior de las líneas de base del mar territorial forman parte de las aguas interiores del Estado.	Ministerio de Justicia	
	Artículo 595	Todas las aguas son bienes nacionales de uso público y pertenecen a la nación toda, incluyendo aquellas que se encuentran en el mar adyacente al territorio nacional.		
Ley 19.300 Sobre Bases del Medio Ambiente (modificada por Ley N° 20.417)	Artículo 1	Derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental.	Ministerio Secretaría General de la República	
	Título II Instrumentos de gestión ambiental.	Regula el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA).		
	Artículo 8	los proyectos o actividades señalados en el Artículo N° 10 sólo podrán ejecutarse o modificarse previa evaluación de su impacto ambiental.		

Normativa	Ley, Documento, Artículo	Indicación	Organismo	Observaciones
	Artículo 10	los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, que deberán someterse al SEIA, entre los cuales se consideran los siguientes: Proyectos de saneamiento ambiental, tales como las plantas de tratamiento de aguas de origen domiciliario; los emisarios submarinos, los sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales sólidos y las plantas de tratamiento y/o disposición de residuos peligrosos.		No se mencionan proyectos de desalinización. Las plantas desalinizadoras entran como emisarios submarinos
Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA)	Decreto Supremo N° 40/12	Especifica cuáles son los proyectos o actividades contemplados en el Artículo N° 10 de la Ley, que tienen la obligación de someterse al SEIA antes de su ejecución.	Ministerio del Medio Ambiente	
	Artículo 3	Fija el procedimiento administrativo al que deberán ceñirse tanto las Declaraciones de Impacto Ambiental como los Estudios de Impacto Ambiental, y establece la lista de permisos y pronunciamientos considerados como ambientales sectoriales.		
	Artículo 73	Letra o) establece que deben someterse al SEIA los proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, planta de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.		
	Artículo 83	Establece Permisos ambientales sectoriales (PASM).		
	Artículo 90	Permiso para introducir o descargar aguas sometidas a la jurisdicción nacional, materias, energías o sustancias nocivas o peligrosas de cualquier especie que no ocasionen daños o perjuicios en las aguas, la flora o la fauna.		
	Artículo 91	Permiso para el transporte de materiales.		
	Artículo 93	Permiso para la construcción, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de residuos industriales o mineros, a que se refiere el artículo 71 letra b) del D.FL. 725/67, Código Sanitario		
Artículo 94	Permiso para la construcción, modificación y ampliación de cualquier obra pública o particular destinada a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües y aguas servidas de cualquier naturaleza.			

Normativa	Ley, Documento, Artículo	Indicación	Organismo	Observaciones
	Artículo 96	Permiso para la construcción, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase; o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.		
	Artículo 101	Calificación de los establecimientos industriales o de bodegaje a que se refiere el artículo 4.14.2. del D.S. Nº47/92, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.		
	Artículo 106	Permiso para subdividir y urbanizar terrenos rurales para complementar alguna actividad industrial con viviendas, dotar de equipamiento a algún sector rural, o habilitar un balneario o campamento turístico; o para las construcciones industriales, de equipamiento, turismo y poblaciones, fuera de los límites urbanos. Permiso para la construcción de las obras a que se refiere el artículo 294 del Código de Aguas. Permiso para las obras de regularización y defensa de cauces naturales, sólo si fuere el caso, según si la especie de intervención o modificación en el cauce natural corresponde a una obra de defensa o a una obra de regularización.		
Norma de carácter ambiental específico				
Aire	Decreto Supremo Nº 144/61	Establece normas para evitar emanaciones o contaminantes atmosféricos de cualquier naturaleza.	Ministerio de Salud	Fase de construcción y transporte
Aire	Múltiples decretos	Regulación de emisión de gases y material particulado.	Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones	
Luz	Decreto Supremo Nº 43/12	Límites máximos de emisión lumínica para las regiones de Antofagasta, Atacama y Coquimbo.	Ministerio del Medio Ambiente	
Ruido	Decreto Supremo Nº 38/11	Establece niveles máximos de emisión de ruido.	Ministerio del Medio Ambiente	
Agua potable	Múltiples decretos	Asegurar la calidad del agua potable para consumo humano en la empresa.	Ministerio de Salud	
Agua servida	Múltiples decretos	Código sanitario prohíbe la descarga de las aguas servidas a cualquier cuerpo de agua que sirva para proporcionar agua potable, riego o balneario, sin que antes se proceda a su depuración.	Ministerio de Salud	

Normativa	Ley, Documento, Artículo	Indicación	Organismo	Observaciones
Aguas marítimas Decreto Ley N° 2.222/78	Artículo 136	Prohíbe la introducción o descarga directa o indirecta a las aguas sometidas a la jurisdicción nacional de materias, energía o sustancias nocivas o peligrosas de cualquier especie provenientes de establecimientos, faenas o actividades, sin tratamiento previo de los mismos que aseguren su inocuidad como factor de contaminación de las aguas.	Ministerio de Defensa Nacional	
	Artículo 140	La Dirección General de Territorio Marítimo y Marina Mercante podrá autorizar la introducción o descarga a las aguas sometidas a la jurisdicción nacional de aquellas materias, energía o sustancias nocivas o peligrosas de cualquier especie, que no ocasionen daños o perjuicios en las aguas, la flora o la fauna, debiendo señalar el lugar y la forma de proceder.		
Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática	Decreto Supremo N° 1 Artículo 1	Establece el régimen de prevención, vigilancia y combate de la contaminación en las aguas del mar, puertos, ríos y lagos sometidos a la jurisdicción nacional.	Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría de Marina	
	Artículo 140	dispone que la Dirección General de Territorio Marítimo y marina Mercante podrá autorizar la introducción o descarga a las aguas.		
Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales	Decreto Supremo N° 90/00 Tabla N° 4	Es una Norma Primaria de Calidad que tiene por objeto regular la descarga de contaminantes hacia cursos de aguas marinas y continentales superficiales mediante la fijación de límites máximos permisibles para la descarga de residuos líquidos, previniendo así de la contaminación de dichos cuerpos de agua. Este decreto establece que toda fuente que descargue sus residuos líquidos a uno o más cuerpos de agua, deberá caracterizar sus residuos líquidos a modo de evaluar si califica como fuente emisora y si queda sujeta al cumplimiento de la norma de emisión. Esta norma se aplica a Fuentes Emisoras Fijas y no considera las fuentes difusas.	Ministerio Secretaría General de la Presidencia	No existe un límite máximo para la salinidad, solo Sólidos suspendidos totales Por esta razón y por indicación del RSEIA, se utilizan como referencia estándares internacionales*, para evaluar el efecto de este parámetro
	Tabla N° 5	Límites Máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua marinos dentro de la Zona de protección Litoral. Define los límites máximos de concentración para descargas de residuos líquidos a cuerpos de aguas marinas fuera de la ZPL.		

Normativa	Ley, Documento, Artículo	Indicación	Organismo	Observaciones
Ley sobre Concesiones Marítimas	Artículo 3	Son concesiones marítimas las que se otorgan sobre bienes nacionales de uso público o bienes fiscales cuyo control, fiscalización y supervigilancia corresponde al Ministerio, cualquiera sea el uso a que se destine la concesión y el lugar en que se encuentren ubicados los bienes.	Ministerio de Defensa Nacional	
	Decreto N°2/2006	Es facultad privativa del Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría para las Fuerzas Armadas, conceder el uso particular, en cualquier forma, de las playas y terrenos de playas fiscales dentro de una faja de 80 metros de ancho medidos desde la línea de más alta marea de la costa del litoral; como asimismo la concesión de rocas, fondos de mar, porciones de agua dentro y fuera de las bahías; y también las concesiones en ríos o lagos que sean navegables por buques de más de 100 toneladas, o en los que no siéndolo, siempre que se trate de bienes fiscales, en la extensión en que estén afectados por las mareas, de las playas de unos y otros y de los terrenos fiscales riberaños hasta una distancia de 80 metros medidos desde donde comienza la ribera una solicitud de concesión se debe especificar su objeto, "expresado en forma clara y precisa, especificando el uso que se dará a cada uno de los sectores y tramos, según su naturaleza". Se añade que, si el objeto de la concesión contempla una cañería aductora de agua, se deberá indicar el volumen total anual que se desea extraer, expresado en metros cúbicos.		
Reglamento sobre concesiones marítimas	Decreto N°9 Artículo 1	Definiciones: Línea de la playa: Aquella que, de acuerdo con el artículo 594 del Código Civil, señala el deslinde superior de la playa de mar hasta donde llegan las olas en las más altas mareas. Línea de la playa oficial: Aquella fijada por la Dirección, pudiendo solicitar para su determinación, un informe técnico al S.H.O.A.	Ministerio de Defensa Subsecretaría de Fuerzas armadas	
	Artículo 6	Línea del límite de terreno de playa: Línea que fija el límite superior de los terrenos de propiedad del Fisco sometidos al control, fiscalización y supervigilancia del Ministerio, ubicada a una distancia de hasta 80 metros, medida desde la línea de la playa de la costa del litoral o desde la línea de aguas máximas en los ríos o lagos, sin considerar para estos efectos los rellenos artificiales hechos sobre la playa o fondos de mar, río o lago.		

Normativa	Ley, Documento, Artículo	Indicación	Organismo	Observaciones
	Artículo 14	<p>Para efectos de su tramitación, las concesiones marítimas mayores y menores se clasificarán, considerando el plazo de duración, el cual no podrá exceder de 30 años, y la cuantía de los capitales a invertir, del modo siguiente:</p> <p>a) Concesión marítima mayor: aquella cuyo plazo de otorgamiento exceda de 10 años o involucre una inversión superior a las 2.500 Unidades Tributarias Mensuales (UTM).</p> <p>b) Concesión marítima menor: aquella que se otorga por un plazo superior a 1 año y hasta 10 años e involucra una inversión igual o inferior a las 2.500 Unidades Tributarias Mensuales (UTM).</p>		
	Artículo 18	<p>Zonificación Regional del Borde Costero. El ejercicio de la facultad discrecional de otorgar concesiones marítimas deberá ajustarse a los usos y criterios de compatibilidad establecidos en la Zonificación Regional del Borde Costero que se encuentre vigente, cuando esta haya sido publicada en el Diario Oficial, incluyendo la memoria de zonificación.</p> <p>Sobre-posición de solicitudes.</p>		
Política Nacional del Uso del Borde Costero del Litoral de la República y Crea Comisión Nacional que Indica.	Artículo 2	<p>Se aplica sobre: 1) terrenos de playa fiscales ubicados dentro de una franja de ochenta metros de ancho, medidos desde la línea de la más alta marea de la costa del litoral, 2) playas, 3) bahías, golfos, estrecho y canales interiores, 4) mar territorial de la república.</p> <p>Crea Comisión Nacional de Uso del Borde Costero del litoral.</p> <p>Propone Zonificación Costera.</p> <p>Propuestas, sugerencias y opiniones a las autoridades encargadas de los Planes reguladores comunales e intercomunales.</p> <p>Conformada por: 1. Ministro de defensa, 2. subsecretario de Fuerzas armadas, 3. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo del Ministerio del Interior. 4. Un representante de la Subsecretaría de Pesca del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. 5. Un representante del Ministerio de Planificación y Cooperación. 6. Un representante del Ministerio de Obras Públicas. 7. Un representante del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. 8. Un representante del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. 9. Un representante del Ministerio de Bienes Nacionales. 10. Un representante de la Armada de Chile 11. Un representante del Servicio Nacional de Turismo, y 12. Un representante de la Comisión Nacional del Medio Ambiente.</p>	Subsecretaría de Fuerzas armadas	Solo existen zonificaciones aprobadas para Coquimbo y Aysén

Normativa	Ley, Documento, Artículo	Indicación	Organismo	Observaciones
Convenio sobre Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias	Decreto Supremo N° 476/77	Convenio Internacional.	Ministerio de Relaciones Exteriores	
Protocolo para la Protección del Pacífico Sudeste contra la Contaminación Proveniente de Fuentes Terrestres.	Decreto Supremo N° 295/86	El ámbito de aplicación comprende el área del Pacífico Sudeste, dentro de la Zona Marítima de soberanía y jurisdicción, hasta las 200 millas de las Altas Partes Contratantes, así como las aguas interiores hasta el límite de las aguas dulces.	Ministerio de Relaciones Exteriores	
Convenio para la Protección del Medio Ambiente y la Zona Costera del Pacífico Sudeste	Decreto Supremo N° 296/86	tiene por finalidad, proteger y preservar el medio marino y la zona costera del Pacífico Sudeste contra todos los tipos y fuentes de contaminación.	Ministerio de Relaciones Exteriores	
Código de Aguas	Decreto con Fuerza de Ley N° 1.122/81 Artículo 171	Requerirán de la aprobación del Director General de Aguas, el proyecto y construcción de las modificaciones que fueren necesarias realizar en cauces naturales o artificiales, con motivo de la construcción de obras, urbanizaciones y edificaciones que puedan causar daño a la vida, salud o bienes de la población o que de alguna manera alteren el régimen de escurrimiento de las aguas.	Ministerio de Justicia	Para regular el acueducto que transporta el agua desalinizada
Reglamento de Almacenamiento de Sustancias Peligrosas	Decreto Supremo N° 78/09	Establece las condiciones de seguridad de las instalaciones de almacenamiento de sustancias peligrosas.	Ministerio de Salud	Proceso de desalinización de agua de mar utiliza sustancias corrosivas (ácido sulfúrico, cloruro férrico, hidróxido de sodio y cal) así como gases no inflamables no tóxicos (dióxido de carbono).
	Decreto Supremo N° 594/99	Almacenamiento de materiales deberá realizarse por procedimientos y en lugares apropiados y seguros para los trabajadores.		
Regulación de caza, captura, crianza, conservación y utilización sustentable de animales de la fauna silvestre	Sustituye Texto de la Ley N° 4.601, sobre Caza N° 4.601 y Artículo 609 del Código Civil	Artículo N° 3 prohíbe en todo el territorio de la nación la caza o captura de ejemplares de la fauna silvestre catalogados como especies en peligro de extinción, vulnerable, raro y escasamente conocido, así como las especies catalogadas como beneficiosas para la actividad silvoagropecuaria, para la mantención del equilibrio de los ecosistemas naturales o que presenten densidades poblacionales reducidas. La caza o captura de animales de las especies protegidas, en el medio silvestre, sólo se podrá efectuar en sectores o áreas determinadas y previa autorización del Servicio Agrícola y Ganadero. Artículo N° 5 prohíbe en toda época levantar nidos, destruir madrigueras o recolectar huevos y crías, con excepción de las especies declaradas dañinas.	Ministerio de Agricultura	Para el sector de instalación de la planta y el corredor acueducto- línea eléctrica Se incluye en el plan de Medidas de Mitigación, Reparación y Compensación, la captura, rescate y relocalización de las especies de fauna identificadas en la línea base

Normativa	Ley, Documento, Artículo	Indicación	Organismo	Observaciones
Reglamento de la Ley de Caza	Decreto Supremo N° 5/98 (modificado por Decreto Supremo N° 53/03)	Regulación de la caza, captura, crianza, conservación y utilización sustentable de animales de la fauna silvestre, realizada por la ley.	Ministerio de Agricultura	
Establece veda extractiva para el recurso lobo marino común en área y período que indica	Decreto Supremo N° 112/13	El presente Decreto establece una veda extractiva para el recurso Lobo marino común <i>Otaria flavescens</i> , en todo el litoral de la República, por el término de 3 años contados desde su fecha de publicación.	Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción	
Establece prohibición de captura de especies de cetáceos que se indican en aguas de jurisdicción nacional	Decreto Supremo N° 179/08	Prohíbe, en forma permanente, la captura con resultado de muerte y la retención de animales vivos, de los ejemplares de las especies de cetáceos presentes en aguas bajo jurisdicción nacional.	Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción	
Protege a los cetáceos e introduce modificaciones a la ley No 18.892 general de pesca y acuicultura	Ley 20.293	declara los espacios marítimos de soberanía y jurisdicción nacional, como zona libre de caza de cetáceos.		
Ley sobre Monumentos Nacionales	Ley N° 17.288 de 1970 (modificada por Ley 20.243)	Son monumentos nacionales y quedan bajo la tuición y protección del Estado, los lugares, ruinas, construcciones u objetos de carácter histórico o artístico; los enterratorios o cementerios u otros restos de los aborígenes, las piezas u objetos antro-po-arqueológicos, paleontológicos o de formación natural, que existan bajo o sobre la superficie del territorio nacional o en la plataforma submarina de sus aguas jurisdiccionales y cuya conservación interesa a la historia, al arte o a la ciencia; los santuarios de la naturaleza; los monumentos, estatuas, columnas, pirámides, fuentes, placas, coronas, inscripciones y, en general, los objetos que estén destinados a permanecer en un sitio público, con carácter conmemorativo. Obtener autorización del Consejo de Monumentos Nacionales.	Ministerio de Educación	Se debe realizar una prospección arqueológica en la línea base, tanto en la zona costera como en el corredor acueducto-línea eléctrica
Ley General de Urbanismo y Construcciones	Decreto con Fuerza de Ley N° 458/75	Planificación Urbana Regional (Plan regulador). Planificación Urbana Comunal. Zonas que admite actividades productivas e infraestructura en la medida que estén calificadas como inofensivas o molestas.	Ministerio de Vivienda y Urbanismo	Tramo de acueducto puede pasar por Áreas de Protección / Zona de protección por interés paisajístico (ZPIP) Se resuelve con el Permiso ambiental sectorial del artículo 160 del RSEIA
Otras normativas		Ordenanzas Municipales.		

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica de normativas Chilenas.

Anexo 2

Una aproximación a las miradas de actores expertos del sector público–privado sobre la desalinización en Chile

Informe complementario elaborado por Valentina Cisterna Roa, Antropóloga Sociocultural (Universidad de Concepción) Máster en Ciencias Sociales Aplicadas a Medio Ambiente (Universidad Pablo de Olavide, Sevilla)

Introducción

El presente documento corresponde al informe de sistematización “Una aproximación a las miradas de actores expertos del sector público-privado sobre la desalinización en Chile”.

Este prediagnóstico social, se enmarca en la investigación “*Consultoría sobre el análisis de los efectos ecosistémicos del uso de agua de mar y la desalación para el abastecimiento hídrico de la minería en Chile*” financiado por la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL).

El objetivo principal de este trabajo busca recoger los principales posicionamientos en materia de regulación socioambiental, enmarcado en la crisis actual de cambio climático y escasez hídrica, a través de un comité de expertos, referentes al mundo público, privado y académico, sobre el abastecimiento hídrico para la gran industria minera en nuestro país.

Un escenario crítico respecto a los acelerados avances en cuanto a la proyección de este tipo de plantas por el paisaje costero, argumentado en la necesidad de agua para producción y consumo humano.

Miradas que nos conducen a la reflexión en cuanto al rol del estado en materia de legislación y fiscalización, pero también sobre cómo se visualiza y comprende el “recurso agua” para los principales influyentes y tomadores de decisiones, quienes, a través de diversos posicionamientos, dan cuenta de miradas —más o menos— articuladas, entre desarrollo, cultura y medio ambiente. Enfoques dualistas o miradas socioecológicas que brindan nociones generales sobre los principales impactos, oportunidades y/o desafíos sobre la gobernanza hídrica y su conexión —a veces oculta— con las políticas de eficiencia energética, entre otras.

Este diagnóstico, invita a posicionar en la discusión a nivel nacional, las desalinizadoras y su desarrollo, repensando el modelo actual, y las posibles ventajas y/o desventajas en su implementación en el borde costero en Chile. Esto, considerando el marco de gobernanza institucional e hídrica, así como también el estado de la discusión referente al Proyecto de Ley de desalinizadoras, tanto como a la proclamada Ley de Cambio climático.

Cabe destacar, que, por el alcance conceptual y temporal de este estudio, se ha escogido realizar este prediagnóstico para enriquecer la información tratada en el informe solicitado por CEPAL, a modo de fortalecer las fuentes bibliográficas revisadas, obteniendo de manera directa, discursos tanto como información de procesos y avances en esta materia. Asimismo, la información se plantea como un insumo directo que tribute a diversos aspectos técnicos del informe general, tanto como la aproximación a las percepciones y opiniones de diversos actores involucrados en esta materia, el análisis, discusión y sugerencias para abordar la desalinización en Chile en cuanto a la industria minera.

Respecto a la estructura de este informe, este da cuenta de la metodología diseñada para abordar el prediagnóstico, describiendo su principal enfoque tanto como técnica de recopilación de información y el tratamiento de esta.

Por otra parte, en el apartado de resultados, se expone de manera general, la síntesis de sistematización, a partir de los relatos recogidos en las principales temáticas abordadas.

Un insumo gráfico que permita visualizar aquellos fragmentos considerados a partir de las entrevistas realizadas y que derivan a la exposición de lineamientos o temas principales en esta discusión transversal, sobre su implementación y regulación como alternativa al abastecimiento de agua industrial.

Finalmente, esto permite profundizar en aquellos posicionamientos enriqueciendo aspectos centrales en la discusión ofrecida por este estudio.

A. Metodología de investigación

Los alcances de este estudio, así como el tema y objetivo planteado, apuntan al levantamiento y análisis de las principales miradas y criterios presentes por parte de actores representantes del sector público, privado y del mundo académico en Chile, en cuanto a las plantas desalinizadoras bajo el modelo industrial minero.

Dicho contexto, se encuentra fuertemente concentrado en la macrozona norte del país; Sin embargo, en los últimos años, ha focalizado su interés en otros territorios a lo largo del borde costero. Un crecimiento exponencial, que invita a adentrarse en las nociones respecto al desarrollo de este tipo de proyectos, las visiones sobre un bien común como el agua de mar, y el estado actual de políticas públicas que enmarcan el quehacer de la discusión en materia socioambiental. Esto último, de la mano del innegable cambio climático y la escasez hídrica que se evidencia en nuestro territorio.

Para abordar esta problemática, alojada en un estudio cualitativo, exploratorio y descriptivo (Hernández, Fernández y Baptista, 2006) se ha optado por la elaboración de un prediagnóstico, que derive a la sistematización de un proceso que represente a modo general, interpretaciones, conceptualizaciones y magnitudes referentes al objeto de estudio.

En consecuencia, el análisis de antecedentes, miradas y experiencias, que permiten fortalecer y complementar el trabajo de revisión de fuentes secundarias.

Un enfoque de trabajo en clave socioecológica (Farhad, 2012) que aporte hacia las concepciones referentes a estos proyectos, bajo la integración de las dimensiones culturales y ambientales.

Para ello, es relevante cumplir el objetivo propuesto, a través del levantamiento de relatos, experiencias y visiones por parte de estos actores seleccionados, ya que permite, abordar la diversidad de perspectivas, significados y valoraciones en tanto las lógicas inmiscuidas en esta temática particular, las que coexisten en determinados escenarios territoriales tanto como legales.

El carácter exploratorio de este estudio tiene por propósito motivar y brindar una aproximación a las visiones por parte de estos actores públicos y privados, tanto como científicos en la materia, entregando bajo sus propias motivaciones e intereses, racionalidades diversas en tanto el desarrollo de este tipo de actividades extractivas del uso de agua de mar.

El acercamiento a los principales actores involucrados en este estudio prediagnóstico, facilitó el intercambio y encuentro de perspectivas, donde los paradigmas asociados a la comprensión del agua de mar y la escasez hídrica, cobraron relevancia a través de lógicas y percepciones.

En primera instancia, la metodología seleccionada para dar comienzo a la etapa de recolección de datos, fue la revisión bibliográfica sobre la desalinización en Chile, principalmente para el abastecimiento de la industria minera. Asimismo, se amplió la mirada hacia aquellos proyectos y casos, donde la prioridad del uso de agua de mar, refiere al abastecimiento humano sanitario.

Se sumó la búsqueda de información en cuanto al marco regulatorio en el país sobre el agua y el océano principalmente, además, de aquellos antecedentes científicos en materia de tecnologías y modelamientos en los procesos de desalinización.

Datos sociodemográficos vinculados a prácticas socioculturales en las principales regiones del norte del país, aportaron a dimensionar el panorama en cuanto a la necesidad del recurso hídrico, y de la convivencia o mejor dicho, co-existencia con proyectos de gran envergadura de tipo minero y derivados, en el borde costero.

Cambios socioculturales que han conllevado a una serie de impactos para las poblaciones locales, tanto como aquellos que refieren, por ejemplo, a la biodiversidad de flora y fauna marina presente en el océano. Una larga costa que alberga un sinfín de organismos ricos y biodiversos, que se encuentra enmarcada en escasas políticas de cuidado y conservación, y que, al mismo tiempo, presenta desafíos en las políticas de desarrollo económico.

Entrevista semiestructurada

En un segundo momento, se dio paso a la elección de la entrevista como técnica principal para este estudio. Para autores como Spradley (1979) la entrevista corresponde a: “una estrategia para hacer que la gente hable sobre lo que sabe, piensa y cree” (Citado en Guber, 2012, p. 69). En ese sentido, la entrevista permite que el investigador, en este caso entrevistador, obtenga información sobre lo interrogado a quienes entrevista. Este hecho es crucial puesto que desde aquellos discursos y diálogos emanan sentidos y significados otorgados por los actores y su trama social. Tal como indica Wright (1981): “las palabras son portadoras de significados en virtud de las interpretaciones dominantes atribuidas a ellas por la conducta social” (en Guber, 2012, p.340). Por tanto, aquellos significados suelen ser compartidos por aquellos actores provenientes del mismo sector de interés. Es decir, visiones comunes adoptadas por quienes comparten cargos y roles —que en este caso— refieren por ejemplo, a las visiones sobre el agua de mar y el océano, la industria y las políticas socioambientales. Estos estándares de acción se demuestran, además, en prácticas, valores o conductas que determinan diversas decisiones y discursos en el escenario económico, político, ambiental, social y cultural, tanto como tecnológico.

Esto es posible de percibir, gracias a que la entrevista se presenta como una situación cara a cara donde en el ejercicio de la reflexividad, aparecen diversos enunciados y verbalizaciones en una instancia de observación directa de participación (Guber, 2012).

En esta investigación, y debido a la temática estudiada, la localización y ubicación juegan un rol fundamental. Si bien las desalinizadoras se concentran al norte del país, diversos actores de los sectores indicados se encuentran inmiscuidos directamente a la temática a nivel nacional. Es por eso, que con el fin de abordar miradas locales tanto como nacionales, las entrevistas cobraron también, una experiencia presencial y telemática. Esto, con aquellos actores pertenecientes, por ejemplo, al sector público y privado, quienes representan desde su posición, a territorios involucrados directamente con el desarrollo industrial minero y su extensión hacia plantas desalinizadoras.

Preguntas diseñadas para la obtención de respuestas respecto a las principales interrogantes de este estudio y su problema de investigación, que marcan el proceso de recolección de datos e información primaria.

Siguiendo a Vieytes (2004) esta técnica de entrevista permite generar un espacio donde la conversación puede derivar a asuntos y pormenores que no se encontraban necesariamente dentro de la pauta o guía de preguntas, trabajadas y establecidas por la investigadora y el equipo de trabajo, pero que, por el contrario, solo brindan mayor riqueza en cuanto a la información y experiencia del encuentro.

Además, esto alude al carácter dinámico y abierto que propicia una mayor flexibilidad durante este espacio y los temas propuestos en ella. Indagando entonces, otros hechos o antecedentes que proveen de información complementaria, y que incluso, pueden derivar a un encuentro más cercano y complejo.

Cabe mencionar, que la utilización base de preguntas, surge a partir de un ordenamiento previo, relacionado a tópicos guías para el estudio, y que se articulan directamente entre ellos, tanto como con el objetivo de la investigación. En esta línea, y bajo el reconocimiento de la importancia de acceder a información individual concreta, es que se formulan pautas de entrevistas centradas en aquellas dimensiones que propicien un orden y profundización en la información tanto en cuanto el perfil del actor identificado. Por lo tanto, se encontrarán pautas diversas, pero con una base común, según el tipo de actor y sector que represente (Ver ejemplos de pautas).

Perfil de actores pertenecientes a la muestra

En sintonía con lo mencionado anteriormente, es que la elección de la muestra para este prediagnóstico refiere a la importancia de un abordaje completo y transversal respecto a la temática de estudio. Es decir, la elección no probabilística de actores que conforman un comité de expertos, los que dan cuenta de nociones, acciones y discursos, sostenidos en visiones representativas de los sectores seleccionados, para ahondar en el interés y desarrollo de proyectos de plantas desalinizadoras para el abastecimiento minero industrial.

Individuos/as pertenecientes a sectores público, privado y académico, que constituyen conocimientos y cercanías en la temática. Por tanto, el perfil de los actores seleccionados ha sido diseñado en base a la cercanía con la temática, y su representatividad como agentes principales en ella.

Cabe mencionar, que en este estudio prediagnóstico, y en el informe general solicitado por CEPAL, no se ha considerado de manera alguna, las visiones de habitantes locales u organizaciones de la sociedad civil en temáticas socio ambientales. El motivo principal, recae en la limitación temporal de este estudio, y en los lineamientos generales solicitados por la institución en esta oportunidad.

Si bien, actores pertenecientes al sector académico y gubernamental, han aportado antecedentes relevantes en cuanto al estado de comunidades cercanas y/o aledañas a este tipo de plantas, estos no logran reemplazar la relevancia de aquellas miradas, vivencias y significados, asociados a la cotidianidad de vivir bajo el contexto de la mega industria y sus múltiples expresiones en el entorno biocultural.

En cuanto al límite de la muestra, para evitar la saturación de la información, por una parte, y por el alcance en el acceso a algunos actores invitados a participar en ella, es que se optó por trabajar con un grupo conformado por seis actores, quiénes, conforman conocimientos situados a partir de sus realidades y nexos con el tema a estudiar.

La estrategia para llegar a aquellos miembros de este comité fue primero, la revisión de antecedentes y trayectorias, en cuanto a la cercanía con la temática, y el perfil para representar aproximadamente, a los sectores involucrados y mencionados previamente.

Finalmente, y entrando en materia de aplicación del instrumento, se deja una tabla que describe la muestra.

Cuadro A2
Clasificación y perfil de actores miembros del comité de expertos que conforman la muestra de investigación

Actores que participaron en entrevistas	Perfil de los/as entrevistados/as	Abreviación y número	Número de actores que componen el comité de expertos
Sector académico y científico Profesionales y Académicas Universidad de Concepción	Profesional del área de ciencias naturales y oceanografía. Experiencia en ciencia y políticas públicas, asesora comité de ciencia Ministerio de Medio Ambiente y miembro de diversos centros y programas de investigación relacionados a temáticas socio ambientales ligadas al agua, su gestión y uso, entre otras.	Profesional académica N° 1	2
	Profesional y académica en derecho ambiental y aguas y Miembro invitada al Senado de la República.	Profesional académica N°2	

Actores que participaron en entrevistas	Perfil de los/as entrevistados/as	Abreviación y número	Número de actores que componen el comité de expertos
Sector privado consultoría industrial Profesional perteneciente a consultora Ecotecnos	Profesional del área de la ingeniería, con formación académica especializada y gerente con trayectoria en proyectos de plantas desalinizadoras en Chile.	Profesional sector privado consultoría ambiental N°3	2
Sector privado industrial Vicepresidente nacional de la Asociación Chilena de Desalinización (ACADES)	Profesional del área de la ingeniería y encargado de comunicaciones con cargo directivo en ACADES.	Profesional sector privado industrial N°4	
Sector público Secretarías Regionales Ministeriales de Medio Ambiente, región de Antofagasta y Biobío.	Profesional del área de las ciencias naturales y autoridad gubernamental perteneciente a la macrozona norte de Chile. Profesional del área legal, doctor en medio ambiente y mención recursos acuáticos y autoridad gubernamental perteneciente a la zona centro sur de Chile.	Autoridad y profesional sector público ministerial de medio ambiente N°5 Autoridad y profesional sector público ministerial de medio ambiente N°6	2

Fuente: Elaboración propia a partir de criterios de selección de muestra.

Resguardo y confidencialidad de la información

Es relevante indicar que la información obtenida a través de los relatos y entrevistas enmarcadas en este estudio, se encuentran resguardadas bajo un profundo sentido de ética profesional, donde la responsabilidad, compromiso y confianza, son vistas como principios esenciales para las personas a cargo de este estudio. Es, por tanto, tarea de esta investigadora cuidar la información entregada, así como las identidades de quienes formaron parte del proceso, debido al respeto y confidencialidad comprometido. En consecuencia, el apartado de sistematización se encuentra escrito de manera en que no se señalan nombres reales de los actores involucrados. Lo anterior, en sintonía a lo estipulado y consensuado en el consentimiento informado, correspondiente al proyecto "*Consultoría sobre el análisis de los efectos ecosistémicos del uso de agua de mar y la desalación para el abastecimiento hídrico de la minería en Chile*", el que se presentó previo a cada realización y aplicación de la pauta semi estructurada. Además, se estipula allí, la participación voluntaria y la autorización a la toma de registros de grabación de audio y/o video según corresponda.

Estrategia de ordenamiento y análisis de datos obtenidos

Para llevar a cabo el análisis de las entrevistas realizadas, fue necesario dar lectura continua a las transcripciones (citas) y sistematizaciones de cada una de ellas. Así, se logró codificar la información, a través del ejercicio de la revisión sucesiva, lo que permitió la formulación de categorías o ítems de datos, que se argumentan en el propio discurso de quienes participaron. A raíz de esto, se requiere la elaboración de una malla temática a partir de la previa construcción del instrumento cualitativo, el que permitió guiar las entrevistas aplicadas.

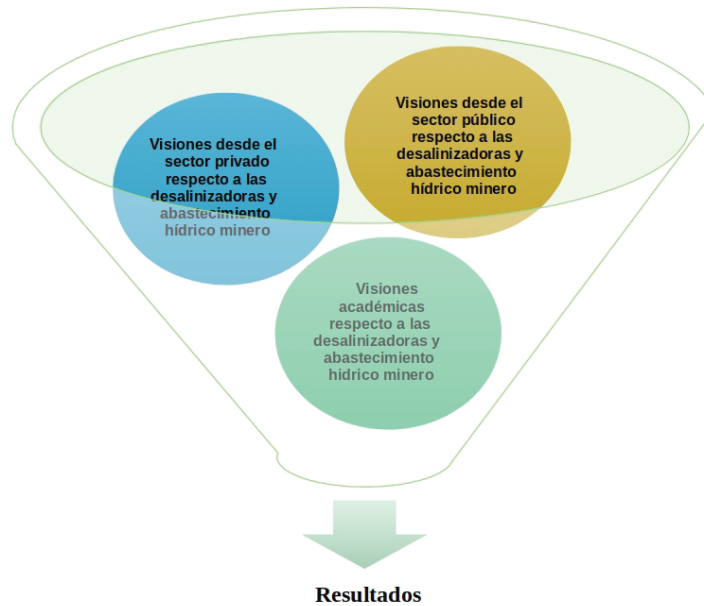
Desde luego que la aplicación de una lógica inductiva deriva a aquellas categorías presentadas, puesto que estas son arrojadas por parte de las y los actores que conforman la muestra, y que, a raíz de sus relatos y discursos, establecieron un orden y sentido a la información tratada.

La malla temática por su parte permite como aparato conceptual, relacionar la complejidad semiótica del discurso con las condiciones objetivas y subjetivas de producción, circulación y consumo de los contenidos (Sagayo, 2014). En otras palabras, y complementando lo anterior, esto nos conduce a ir más allá de la descripción, y lograr generar interpretaciones tanto de las miradas y valoraciones, como acciones y prácticas.

Respecto a la triangulación de datos, esta se obtiene a partir de múltiples fuentes, principalmente, de revisión bibliográfica y de prensa, tanto como de la aplicación de estas entrevistas. En palabras de Hernández, Fernández y Baptista (2010) "esto ayuda a establecer la dependencia y credibilidad de la investigación" (p.532).

Este proceso hermenéutico, contempla la reunión y cruce dialéctico de toda la información revisada pertinente a este prediagnóstico. Para Mora (2006) la triangulación conlleva a la potencialidad analítica y a la validez en la investigación, la que permite acceder de mejor a la realidad y su complejidad.

Diagrama A1
Esquema de triangulación de datos



Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de Pauta de entrevista

A modo de ejemplo, se adjuntan dos pautas de entrevistas semi estructuradas tipo. Si bien, las preguntas son una guía para el desarrollo de estos encuentros, cada actor responde a un tipo de perfil que requiere centrar la atención en su área de influencia y experiencia. Por tanto, para cada actor, hubo una batería de preguntas orientadas a ciertos tópicos, o algunas que emergieron a través de la conversación.

Ejemplo Nº1
Pauta Entrevista Semi Estructurada
Comité de Expertos Desalinizadoras en Chile

Objetivo de la entrevista: Conocer las principales miradas y posicionamientos que poseen los distintos miembros expertos sobre las plantas desalinizadoras en Chile, con especial interés en la industria minera. Identificar sus principales antecedentes, impactos y desafíos en el marco de la regulación socio ambiental y el contexto de cambio climático.

Antecedentes:

Nombre
Profesión
Cargo(s) Líneas, Instituciones
Fecha y lugar entrevista

Sobre las desalinizadoras en Chile y su implementación

- i) Considerando el actual escenario de cambio climático y escasez hídrica, ¿Son las plantas desalinizadoras desde su visión una oportunidad para nuestro país?
- ii) En esa misma línea, a la hora de enfrentar la escasez hídrica y el cambio climático, ¿Chile ha puesto en marcha otras acciones y/o alternativas? ¿Son en nuestro país las desalinizadoras la única opción en esta materia?
- iii) En cuanto a los sectores productivos, ¿Conoce usted otras áreas, aparte de la industria minera y del agua potable, que podrían requerir utilizar este tipo de plantas para el abastecimiento hídrico? ¿Cuáles? ¿Qué opina sobre el uso de estas plantas para la industria del Hidrógeno Verde y qué desafíos se presentan con su potenciación?
- iv) Desde su perspectiva como experto ¿Pueden ser estas plantas desalinizadoras una opción viable y sostenible? ¿Cómo se logra o encamina hacia esto?
- v) En este aspecto, ¿Son los proyectos multipropósito una solución transversal para el abastecimiento humano y el desarrollo productivo? ¿Qué ocurre con ellos en Chile? En relación con la no distinción en la evaluación ambiental sobre tipo de planta, usos y tamaños.

Sobre estudios y recomendaciones científicas

- i) En cuanto a la costa de nuestro país, y el fondo marino en términos de su riqueza ecosistémica ¿Cuál cree usted, que son los principales impactos de las desalinizadoras sobre ellos? ¿Estos impactos dependen del tipo de planta, tamaño, número de estas? ¿Se puede hacer una diferenciación en este aspecto? (impactos desde su planificación hasta operacionalización) ¿Cómo se podrían modelar estos impactos?
- ii) En cuanto a nuestro contexto y su criterio, ¿Hay en Chile suficientes estudios que demuestran la realidad local respecto a la implementación e impactos de estos proyectos? ¿Qué tecnologías (¿ej. ¿En Procesos hidrometalúrgicos se requieren para disminuir los impactos negativos? (líneas de base, enfoques interdisciplinarios en esta materia).
- iii) A su criterio, ¿Los parámetros establecidos por los estudios de impacto ambiental y derivados, son adecuados e integrales en esta materia? ¿Se deben establecer criterios distintos en el caso de proyectos industriales y los de abastecimiento hídrico para consumo humano? (visión global) ¿Cómo afecta a estos proyectos la falta de normativa para el agua de mar y sedimentos marinos?
- iv) ¿Cuál es su mirada respecto al marco legal y estándares regulatorios en esta materia?
- v) ¿Cree usted que las plantas desalinizadoras son hoy en día, un mecanismo de adaptación o falsa adaptación al cambio climático? ¿En qué sentido? ¿Por qué?
- vi) Bajo su mirada experta y a modo de cierre ¿Qué desafíos y recomendaciones visualiza usted respecto al desarrollo acelerado y previsto para los próximos años en materia de desarrollo de plantas desalinizadoras en Chile? (ventajas y desventajas; focalizar en el uso industrial minero y en los futuros estudios).

Ejemplo N°2

Pauta Entrevista Semi Estructurada Comité de Expertos Desalinizadoras en Chile

Objetivo de la entrevista: Conocer las principales miradas y posicionamientos que poseen los distintos miembros expertos sobre las plantas desalinizadoras en Chile, con especial interés en la industria minera. Identificar sus principales antecedentes, impactos y desafíos en el marco de la regulación socio ambiental y el contexto de cambio climático.

Antecedentes:

Nombre
Profesión
Cargo(s) Líneas, Instituciones
Fecha y lugar entrevista

- Como experta, ¿Cuál es tu opinión sobre el proyecto de ley que está actualmente en el congreso? ¿Trae consigo una mirada hacia la sustentabilidad de esta actividad? ¿Qué nos puedes contar sobre las principales discusiones del proyecto?
- En esa misma línea, ¿Cuál es tu visión global sobre el Decreto Supremo 90 y en general sobre la regulación ambiental en Chile?
- Ahora en cuanto al material recientemente publicado en diciembre, ¿Cuáles han sido las principales reacciones ante este informe del MMA?
- En este momento ¿En qué se encuentra el proyecto de ley en esta materia y cómo se articula con las recomendaciones señaladas por uds en el informe?
- ¿Qué ocurre a nivel de la gobernanza institucional en esta materia? ¿Cómo se vinculan en este proceso los distintos actores involucrados en materia legislativa.
- Sabemos que, en la actualidad en Chile, existen una serie de desafíos y recomendaciones respecto a la utilización de agua de mar y a esta industria en general. ¿En qué punto nos encontramos y qué acciones inmediatas se pueden tomar? pareciera que las recomendaciones, brechas y observaciones requieren de años de investigación y trabajo científico tanto como legislativo, que no responden por ej. con el acelerado incremento de estos proyectos en el país y al contexto actual de la discusión del Proyecto de Ley.
- Justamente para ahondar en esto, y post revisión del informe publicado, nos gustaría poder ahondar en su visión como experta en cuanto al rol que puede cumplir la ciudadanía o principalmente las comunidades afectadas en términos de los impactos socioecológicos descritos. Hace unos días el proyecto Dominga fue rechazado, y ha marcado un hito en cuanto a la lucha por la justicia ambiental. En ese sentido ¿Qué marco legal, y/o acciones pueden proteger, acompañar o desarrollar estas comunidades y organizaciones de la sociedad civil frente a la llegada de estos proyectos, por ej por aquellos que no necesariamente pasan por un estudio completo de impacto ambiental? (conductos regulares).
- Desde su perspectiva como experta, ¿Cuáles son las principales oportunidades o ventajas y desventajas de estos proyectos y la utilización del agua de mar en nuestro país?

Presentación de los datos sistematizados

A continuación, se presenta mediante la malla temática, las principales categorías indicadas por las entrevistas aplicadas, y su contenido, previamente organizado, seleccionado y sistematizado.

Cabe señalar, que el insumo de la sistematización de los encuentros va a ser anexada a este documento en versión extensa.

La malla presenta una síntesis de aspectos y discursos clasificados para la presentación de hallazgos y posterior análisis de estos. La exposición gráfica permite comprender y diferenciar de mejor manera aquellos aspectos destacados en el discurso y que refieren a ámbitos específicos desarrollados en el transcurso de los encuentros.

Por último, se debe recordar que cada actor se vio enfrentado a una pauta de entrevista guía, que solo permitió la direccionalidad de la temática hacia aquellas miradas y jerarquías de aspectos por parte de las y los actores miembros del comité de expertos.

Cuadro A3
Malla temática y sistematización de información por categorías

Categorías	Dimensiones	Datos	Interpretación
Sobre las desalinizadoras en Chile	Frente a la escasez hídrica y el cambio climático	Entrevistada N° 1: "No potencia un cambio hacia el uso y la conciencia hídrica en Chile (...) hay otras medidas como la reutilización del agua que requieren menos inversión pública y que tienen menos vacíos legales (...) los tiempos de los estudios son menores" "Se reduce todo a una concepción del océano y de su agua como un infinito" "Más que una oportunidad en este tema es un desafío".	Las y los diversos actores entrevistados, dan cuenta de miradas comunes y diversas en cuanto a las desalinizadoras y su relación frente a la escasez hídrica y el cambio climático. Por una parte, vistas como una oportunidad para el abastecimiento hídrico, o como un desafío mayor, que puede escalar a más impactos en términos de este.
		Entrevistada N° 2: "En este contexto, una oportunidad es que pueden poner a disposición agua para satisfacer el derecho humano al agua en las localidades donde este complicado (...) ahora bien, si es que esto se regula y se planifica, entonces no habría tantos conflictos por el recurso" Sin embargo, si es tan urgente la sequía y la escasez hídrica, yo opino que las desalinizadoras son una opción más entre otras, y además, a mi criterio, la última medida de adaptación, establezco un orden de priorización de las medidas (...) avanzar en eficiencia hídrica, educación ambiental, restauración y protección de humedales, etc. (...)" "Ante la mayor dificultad del cambio climático que es la falta de agua (...) no hemos discutido aún un plan de adaptación hídrica, desde allí se debería haber discutido y posicionado a las desalinizadoras como una opción o no necesarias y otras formas de adaptarnos".	Algunas visiones desde el sector académico apuntan a la necesidad de contemplar y desarrollar otras acciones previas ligadas a la gestión del recurso hídrico, la educación ambiental y la regulación de aquellos aspectos legales que prestan hoy, importantes vacíos en cuanto al océano como foco de interés. Esto último, se expresa, además, por quienes piensan que el agua de mar podría ser una opción para el abastecimiento, como una solución para frenar los impactos ecosistémicos a nivel continental. Esta visión, deja entrever valoraciones respecto al mar y su biodiversidad, en comparación al agua continental y sus ecosistemas. Es decir, dualidades que expresan el cuidado del agua dulce por sobre el agua salada.
		Entrevistado N° 3: "Frente a la dificultad de obtener agua dulce para diversos fines, la desalinización es una opción considerando nuestro litoral (...) Es una tremenda oportunidad porque existe la tecnología que permite apalear los impactos en los organismos marinos" "Es una buena opción siempre y cuando a los diseños de ingeniería tanto la captación y descarga se hayan incluido los conceptos esenciales de ecología del área donde se va a hacer el proyecto".	Por último, las desalinizadoras son puestas como una eficaz solución económica a los estragos del cambio climático y la necesidad de agua para consumo humano e industrial.
		Entrevistado N° 4: "Frente al cambio climático, las desaladoras son una oportunidad, hay una tremenda crisis ambiental, una realidad innegable (...) el principal desafío es la escasez hídrica y este problema nos lleva a ver cómo nos hacemos cargo, primeras medidas como educación, eficiencia y optimización del recurso, y junto con eso, ver cómo podemos transformar la fuente (...) en Chile tenemos 5mil Km de costa, evidentemente es algo que tenemos que desarrollar como país con lo más altos estándares (...) el beneficio que nos otorga es casi único (...) no podemos no tener agua, la gente la necesita, la agricultura y la industria".	El océano y su agua como un bien común infinito, puesto a disposición, para su uso y comercialización.

Categorías	Dimensiones	Datos	Interpretación
		<p>Entrevistado N° 5:</p> <p>"Son muy importantes para la región, por la falta de agua y por la explotación no sustentable de los recursos hídricos continentales (...) vamos a seguir destruyendo los ecosistemas, entonces ¿de dónde sacamos el agua? La respuesta más fácil es la desalinización, pero también tiene consecuencias (...)" "Yo creo que el camino si o si son las desalinizadoras, hay otros caminos que se pueden ver más interesantes, pero no sé si (...) por ej. Traer agua de la desembocadura del Biobío hasta acá, pero por medios subterráneos, creo que son las únicas dos opciones que tenemos, sacar agua de mar o traer de otra parte (...) y lo más económico es sacar agua del mar" "Creo que hay muchas ventajas si se logra disminuir impactos, hay disponibilidad de energía barata, de un recurso muy disponible nos da grandes ventajas económicas, pero para ser reales tiene que haber un control de los impactos (...)"</p>	
		<p>Entrevistado N° 6:</p> <p>"Se abre como una alternativa con pro y contras a nivel ambiental (...) hay que tener miradas integrales en esto" "el borde costero es un escenario completo de discusión (...)"</p>	
	Regulación Socioambiental	<p>Entrevistada N° 1:</p> <p>"La mirada sobre el océano implica un gran esfuerzo, que finalmente ha dejado desprotegido este bien común (...)" "No hay miradas ni criterios integrales en la conservación del borde costero" "Se requiere una ley de costas para Chile", "hoy en día hay guías que han aportado en estos temas, pero que no son normativas (...) hay discusiones que no se están dando aún respecto a la sustentabilidad o a criterios en el uso del agua de mar y las plantas desalinizadoras" "Se requiere aplicar un enfoque integrado de cuencas, estas están delimitadas y nos permite tener una mirada integral de lo que llega a las zonas costeras" "Hay una falta de planificación post respecto a quién se hace cargo de cubrir aspectos fundamentales para el funcionamiento y mantención de estas plantas".</p> <p>Entrevistada N° 2:</p> <p>"Frente al proyecto de Ley de las desalinizadoras, este está avanzando más rápido que el de eficiencia hídrica (...) hay puntos centrales en la discusión ¿de quién es el agua desalada? (...)" "No se están estableciendo obligaciones en este proyecto de ley (...) las mineras seguirán utilizando esa agua, además de la desalada" "Este proyecto no logra dar solución a algo fundamental, que es la regulación del borde costero" "Aquí se está improvisando, hay falta de planificación y descoordinación entre las entidades. Se están aprobando en la medida en la que se presentan, sin planificación, están haciendo guías que son aportes, pero desesperados ante la falta de normativa" "debería ser que, en la redacción de estas leyes, hubiese conocimiento científico en la redacción de estas" "Aquí se debiese actuar con el principio precautorio sobre el mar" "(...) el estado debe portarse como un guardián, no solo meramente administrador (...) hoy no tenemos una mirada al futuro, necesitamos planificación del borde costero y exigencias normativas".</p>	<p>Las miradas por parte de las y los entrevistados, arrojan diversos puntos en cuanto a la regulación socioambiental en Chile y su articulación a las plantas desalinizadoras. Por una parte, la discusión del Proyecto de Ley de desalinización brinda oportunidades para designar normas en cuanto a estos procesos industriales, y la participación y robustecimiento del Servicio de Evaluación Ambiental en ello. Sin embargo, al mismo tiempo, abre un fuerte debate sobre su nivel de profundización y claridad en exigencia socioambiental. Pues, la principal motivación debiese estar centrada en la importancia del ordenamiento territorial, criterios de evaluación de proyectos y, sobre todo, en obligaciones hacia el sector industrial. Temas que dan cuenta de profundos vacíos legales en esta materia.</p> <p>Una nebulosa que también refiere al agua desalada, y su estatus o no, como uso de bien público.</p> <p>Por otra parte, la gobernanza hídrica en Chile y sus complejidades, dejan abierta la necesidad de articular miradas y sectores, tanto como la participación de los territorios más cercanos a estos contextos. Una agenda ministerial que ha estado generando esfuerzos para crear alianzas y mesas de trabajo en este sentido, pero que trae desafíos en cuanto a procesos centralizados en la discusión.</p>

Categorías	Dimensiones	Datos	Interpretación
		<p>Entrevistado N° 3:</p> <p>“Tenemos muy poca normativa que se relacione a plantas desalinizadoras como tal, lo que si hay son guías” “Por lo tanto, todas estas cosas que están en el aire, han sido paleadas de manera parcial por la autoridad marítima y el SEA (...) son guías pero que están escritas desde el debe” “El uso adecuado del borde costero no está claro en Chile (...) Entonces como no existe un ordenamiento del borde costero adecuado, no está o puede ser cambiado muy rápidamente (...) los inversionistas pierden mucho dinero y entonces no hay certidumbre para ellos. Por otro lado, para aquellos que nos preocupamos de la ecología y conservación no hay formas de defender claras, entonces no hay cómo actuar en este vacío donde hay un trabajo que todavía no se logra levantar de forma adecuada”.</p>	<p>Respecto a la importancia de la regulación, esta no solo es mencionada bajo el contexto ambiental, sino también económico. Esta dualidad, refiere al sector privado, el que alude a la urgencia de claridad en materia legal, que evite desincentivos económicos por parte de inversionistas. Algo, que, bajo estos argumentos, podría ocasionar urgencias y desastres en términos de falta de abastecimiento del recurso hídrico. Capacidades de inversión e innovación que argumentan, el sector privado puede financiar y con elevados estándares. Una clara carta magna, según ellos, debiese delimitar los campos de acción, lo que favorece a este tipo de proyectos, en términos de recursos y tiempo.</p>
		<p>Entrevistado N° 4:</p> <p>“La planificación y la regulación son esenciales, pero el problema o el desafío está en que estos debates sean tan largos, mientras sigan estos problemas, pueden acrecentarse (...) “Lo mejor que nos puede pasar es la regulación, es super importante avanzar en tener regulación y que sea lo más claro, que esa regulación no genere un desincentivo a que los privados inversionistas que son necesarios para esta industria (...) “Entonces hay que fiscalizar, hay que asegurarse de ese uso y que sea eficiente y que apunte en pro de la sociedad, en el debate si se debe o no, cobrar por el uso del agua de mar, el punto es que la industria de la desalinización es una industria de infraestructura a la larga, lo que hace no es consumir agua, sino transformarla para distintos fines (...) “Hay que trabajar en robustecer las instituciones, una regulación que mire ambas caras, impactos y necesidades (...) que no sean medidas que desincentiven la inversión o reglas que cambien constantemente (...)” “Nos preocupa tener participación (...) ser escuchados como industria (...) una regulación donde los derechos de todos los actores estén protegidos y velados por parte del estado”.</p>	<p>A su vez, la participación en el diálogo y diseño de estas leyes refuerza el interés por conformar parte en la discusión sobre las desalinizadoras en el país. Visiones que, además, dan cuenta de la importancia que cobra el recurso hídrico, para el sector privado de mega infraestructura, ahora, en un nuevo foco, el mar.</p>
		<p>Entrevistado N° 5:</p> <p>“Como seremia no tenemos muchas herramientas por lo centralizado que es todo, los que tienen más puntos de acción son el gobierno regional, puntos sobre el uso de los recursos de la región (...) “En cuanto el uso estratégico del territorio, estamos haciendo alianzas, es para evaluar el uso costero, un instrumento que permite generar zonas para ir ordenando el uso de la costa” “Hay que articular políticas públicas que refieran a los contextos de macrozonas o territorios específicos, ej. Donde estén concentradas este tipo de plantas”.</p>	
		<p>Entrevistado N° 6:</p> <p>“Sobre el proyecto de ley este pasa a regular el tema, y frente a la falta de normativa, al menos ya hay una discusión. Además, se hace una priorización a uso de consumo humano a este tipo de plantas (...) “En el caso de nuestra seremia, y más allá de las desalinizadoras (...) hemos puesto el ojo en la planificación del borde costero (...) los principales conflictos socio ambientales en Chile, están asociados a esto” “Es importante que la discusión tenga una mirada de qué es lo que vamos a evaluar ambientalmente ¿cuáles van a ser los criterios? Es importante tener ese foco hacia donde vamos a ir”.</p>	

Categorías	Dimensiones	Datos	Interpretación
	Impactos socioecológicos	<p>Entrevistada N° 1:</p> <p>"Afectaciones a todo nivel, sobre el borde costero y comunidades" "No hay una claridad aún de los verdaderos impactos de estas desalinizadoras, el SEIA no obliga a monitorear" "Las miradas no están posicionadas en el mar ni en la conservación de la biodiversidad (sólo en áreas marinas protegidas)" "A nivel de dinámicas socioculturales, y concepción del océano como bien común, esto solo está siendo protegido por figuras como las ECMPO, no de manera global en Chile" "Los impactos debido a los niveles de salinidad y salmuera en grandes cantidades no han sido resueltos ¿qué se hace con esto? (...) afectaciones al fondo marino por la alcalinidad y cambios de PH" "Cambios en el paisaje debido a que los emplazamiento siempre es al menor costo posible de inversión" "(...) "Las condiciones de salinidad y sus fluctuaciones, tanto como la poca biodiversidad de especies permite la adaptación a este tipo de intervenciones, en Chile es todo lo contrario, no hay evidencia científica centrada aquí y no se aplica el principio precautorio" "Uno de los principales impactos de esta industria es que no hay agua potable disponible a causa de la mega industria" "El nivel de energía que se utiliza para esta industria es también un impacto" "Hay mucho por estudiar y conocer respecto a qué medidas tomar con la sal resultante".</p> <hr/> <p>Entrevistada N° 2:</p> <p>"Hacer esto a ciegas y sin planificación no me parece, jugando con un bien común, como es la biodiversidad marina, la riqueza y salud de los océanos, secuestro de carbono, el acceso al borde costero (...) "la relación con otros temas como el hidrógeno verde me hace pensar en los efectos energéticos y la cantidad de agua que se requiere (...)".</p> <hr/> <p>Entrevistado N° 3:</p> <p>"Los dos grandes impactos son la salmuera y la captación de agua (...) la descarga ha sido mejor enfrentada en los últimos años (...) no existen mecanismos y/o tecnología en el mundo que haga que no entren en el filtro micro organismos como el zooplancton, fitoplancton y zooplancton" "El residuo de la salmuera es lo más grande, por eso se están pensando soluciones de que hacer con ella y no devolverla al mar, usarla para otras industrias por ejemplo" "las guías están incorporando temas como el ruido submarino, cada vez más, mayores exigencias" "En cuanto a los cambios en el borde costero y su acceso, eso tiene que ver con que no hay claridad en el uso de este y las comunidades están en su derecho (...) pero no hay nada que mencione la ubicación" "Se está dando el triángulo de amonio, hidrógeno verde y las gasolineras ecológicas (...) esto involucra tremendas tomas de agua y construcción de parques eólicos, hay impactos socio ambientales significativos".</p>	<p>Por otra parte, se hace una clara alusión a la relación de los impactos con la falta de estudios y conocimiento especializado en cuanto al contexto del océano pacífico y a las condiciones de la costa chilena. Ejemplos que una vez más, bajo la mirada académica, debiesen ser suficientes para utilizar principios precautorios.</p> <p>En cuanto a los cambios del paisaje, estos refieren a la pérdida de acceso público a la playas, bahías y caletas, donde conviven diversas miradas y usos que sufren estragos con la llegada de estas plantas desalinizadoras. Consecuencias no sólo económicas por la pérdida de actividades como el turismo o la pesca, sino de dinámicas socioculturales, relacionadas a prácticas y saberes locales, los que, al parecer, son amortiguados a través de compensaciones económicas, que dan cuenta de prácticas hegemónicas de desarrollo.</p> <p>Respecto a la relación de estas plantas desalinizadoras con otros megaproyectos energéticos, se señala reflexivamente la triangulación entre ellas, impactos igual de importantes a nivel socioecológicos. Una mirada que, desde el sector gremial de las desalinizadoras en Chile, se reduce a un aspecto económico referido a procesos como el bombeo y traslado del agua, un hecho que, por cierto, la industria argumenta puede asumir, y que marca un hito en el esfuerzo de proveer de agua a comunidades y diversos sectores.</p> <p>Transversalmente, se hace alusión a la importancia de elevar los estándares regulatorios y, por ende, tecnológicos, a la hora de planificar el desarrollo de plantas desalinizadoras, así como también de sus consecuencias a futuro. Implementación y rol de planes de monitoreo y vigilancia, además de inversión pública y privada en la formación y especialización de capital humano en estas áreas.</p> <p>Finalmente, el gobierno y sus secretarías regionales cumplen un rol fundamental en la protección, fiscalización y aprobación de proyectos en el borde costero. Para ello, se hace necesaria la mirada de la conservación y cuidado de la biodiversidad marina, en sintonía con el cambio climático y con el proyecto de ley de desalinización en Chile.</p>

Categorías	Dimensiones	Datos	Interpretación
		<p>Entrevistado N° 4:</p> <p>"Los posibles impactos, tienen que ver con la salmuera, hay que dimensionar esos impactos, otros posibles impactos, el consumo energético, hay que subir esta agua y conducirla, bombearla, por ej. A una minera. Los dos grandes impactos negativos, y otros referidos a la toma de agua, fauna y flora submarina que esté en la zona. "(.) tecnologías como osmosis inversa, tienen una gracia que el agua que entra tiene una casi misma temperatura que la que sale, y la sal que sale no es un barro toxico, es agua con más sal, y lo que se hace es un emisario largo y estudiar las corrientes, de manera que la dilución de esa agua sea efectiva, y la verdad es que el impacto que genera es menor y hay mucho debate, el punto es estudiar el punto de devolución, de manera tal que sea el menor posible (...) yo no te voy a decir que no los hay, sino que se ha mejorado mucho, en Chile, los equipos (...) no se afecta una gran región" "las plantas han reducido su consumo energético drásticamente, en el proceso de desalinización me refiero (...) las energías renovables permiten energías limpias para abastecer (...) bien diseñadas permiten menos costo (...) el consumo de energía desde los bombeos es brutal, pero es un debate interesante porque el que financia ese consumo es el proyecto minero, un costo asociado que no se refleja como un costo para la gente/comunidades, lo asume la industria como algo propio permitiendo disponibilidad agua para las comunidades, ósea es algo significativo (...) "Tenemos claro la necesidad de relacionamiento comunitario, para hacer que logren convivir actividades en el borde costero, entonces, eso lo tenemos claro (...) eso se logra conversando, trabajando, viendo cómo uno puede hacer un relacionamiento temprano de manera que en el ideal los proyectos no estén donde pueda afectar a una comunidad".</p>	
		<p>Entrevistado N° 5:</p> <p>"Se está haciendo un mapeo de biodiversidad de la costa en la región de Antofagasta, eso nos permite conocer su estado e identificar lugares para proteger (...) "El impacto más importante es la salmuera al mar, hay que canalizarla en otra parte (...) hay que regular cuanto es la salinidad que se puede devolver (...) hay que seguir avanzando en regulaciones" "la caleta donde está la escondida está super contaminada, la gente vive ahí de subsidios de la minera, ha tenido un gran impacto dentro de la vida de la gente y del medio ambiente (...) cuando se han acercado a las autoridades comentan que no puedes pescar, no hay acceso a la playa, no hay turismo actividad que antes estaba presente, ellos no pueden subsistir solo del mar como lo hacían antes (...) " Hay que encontrar que hacer con la salmuera, ej. Regar caminos, etc., la industria y nosotros podríamos decir qué hacer con esa agua, hay que tener un ordenamiento territorial, concentrar, poner esto en el lugar más adecuado para que esta industria tenga el menor impacto posible (...)".</p>	
		<p>Entrevistado N° 6:</p> <p>"Se reitera el conflicto, el ordenamiento del territorio, el borde costero, queremos empujar el borde costero y la política de biodiversidad, vamos a identificar y valorizar la biodiversidad marina (...) "Tengo mis críticas respecto a otras opciones por ej. La carretera hídrica, la visión tiene que ser socio ecosistémica siempre, un ejemplo de eso es lo que hemos estado haciendo en la seremia respecto a los humedales, la ley de humedales (...)".</p>	

Fuente: Elaboración propia en base a entrevistas semiestructuradas.

De manera complementaria, se deja a continuación, una tabla resumen con las principales ventajas y desventajas propuestas por las y los entrevistados, en cuanto a la implementación de plantas desalinizadoras en Chile.

Cuadro A4
Ventajas y desventajas desalinizadoras

Ventajas – Oportunidades	Desventajas – Desafíos
<ul style="list-style-type: none"> – Abastecer de agua a comunidades afectadas por la sequía y escasez hídrica en el marco del cambio climático. 	<ul style="list-style-type: none"> – Poca regulación en materia específica de plantas desalinizadoras en Chile. – Falta de claridad y profundización en la discusión actual del Proyecto de Ley de Desalinización. – Necesidad de fortalecimiento de gobernanza hídrica en Chile. – Falta de articulación con otras Leyes como la de Cambio Climático. – Falta de planes de adaptación hídrica y eficiencia del recurso. – Acelerada “solución” sin planificación y estudios referentes al contexto del borde costero y océano pacífico, respecto a los impactos de una industria como esta. – No existen por el momento, soluciones claras en cuanto al residuo de salmuera. – Al no contar con planes de ordenamiento territorial, la ubicación geográfica de estos proyectos no está siendo un criterio que considerar en la aprobación de plantas desalinizadoras. – Falta de estudios en materia de ecosistemas marinos y monitoreo post funcionamiento de plantas desalinizadoras. – Cambios en el paisaje y pérdida de saberes y prácticas socioecológicas.

Fuente: Elaboración propia, a partir de la información sistematizada.

B. Conclusiones y sugerencias

Para efectos de este informe de sistematización, las principales conclusiones y sugerencias, refieren a la necesidad urgente, de avanzar la discusión y aprobación del Proyecto de Ley de Desalinización en Chile. El que, si bien, a mirada de diversos actores, está lejos de representar criterios comunes y acabados, da cuenta, mínimamente, de un marco regulatorio en aspectos relevantes hacia desarrollo de esta industria.

El contexto de sequía y escasez hídrica en diversos territorios a lo largo del país ha propiciado el acelerado crecimiento de estos proyectos, argumentados en el abastecimiento hídrico para consumo humano, tanto como para el sector industrial. Discusiones que posicionan las preocupaciones en los principales efectos socioecológicos identificados: la captación de microorganismos relevantes para los ecosistemas marinos, el residuo de salmuera y su descarga al mar, y por último, la apropiación y modificación a nivel de paisaje en cuanto al borde costero.

Afectaciones que dan cuenta de cambios socioculturales, despojo y pérdida de hábitat, tanto como de prácticas y saberes relacionadas a la pesca artesanal, el turismo a pequeña escala y las concepciones locales ligadas al mar, que derivan a una pérdida de identidad socio territorial. Caletas y bahías que bajo la no regulación y fiscalización, han perdido su biodiversidad y riqueza socio ecosistémica.

Las miradas interdisciplinarias se vuelven necesarias a la hora de abordar este complejo escenario, requiriendo la mirada científica en la planificación tanto como diseño, modulación y aprobación de planes que ayuden a articular leyes y proyectos en temáticas de cambio climático, adaptación hídrica y desarrollo. Pues, son responsabilidad del sector público y privado, de los y las tomadores de decisiones, proveer de información a la población en materia de regulación, fiscalización y funcionamiento de las principales instituciones a cargo de materia ambiental y gobernanza hídrica en el país.

De esta manera, la participación no solo será consultiva, sino, vinculante, dando paso a procesos más profundos y exigentes a la hora de aprobar este tipo de proyectos de mega industria, que de alguna u otra manera, se diseñan de manera extractiva y que responden a dinámicas y lógicas hegemónicas de desarrollo económico. Prácticas que no solo quedan en el ámbito comercial, sino también de mitigación y compensación a aquellas poblaciones afectadas por los impactos de esta industria.

Si bien, la necesidad por el agua es una preocupación a nivel mundial y nacional, los argumentos no pueden estar remitidos a una pronta solución que carezca de estudios, tecnología adecuada y responsabilidad medio ambiental y social. Es, por tanto, que el estado en su máximo poder debiese entonces, asegurar el recurso hídrico continental para el consumo humano, y aplicar principios precautorios en tanto en cuanto la falta de información y estudios en materia científica, ligada a los efectos presentes en los ecosistemas marinos.

Por último, este pre diagnóstico, visualiza de manera tajante, la incorporación en la discusión de las plantas desalinizadoras en Chile, en materia de abastecimiento industrial minero, a comunidades locales, quienes bajo su contexto y cercanía a estas plantas, puedan entregar discursos y experiencias en términos de la convivencia, bio físico socio cultural con estos proyectos de gran escala, lo que enriquecerá sin lugar a dudas, las principales discusiones en este tema, visualizando las miradas de todos los actores involucrados en la problemática estudiada.

Bibliografía

- Farhad, S. (2012), Los sistemas socio-ecológicos: Una aproximación conceptual y metodológica.
- Guber, R. (2012), La etnografía: Método, campo, y reflexividad. 1a Edición, Buenos Aires: Siglo XXI.
- Hernández, R., Fernández, C., Baptista, M. (2006), Metodología de la Investigación, quinta edición. México: McGraw-Hill.
- Mora, H. (2005), Complementación de métodos en investigación social: Una reflexión en torno a las implicancias teóricas y las prácticas metodológicas. Revista *anthropos: Huellas del conocimiento*, (207), 73-96.
- Sagayo, S. (2014), El análisis del discurso como técnica de investigación cualitativa y cuantitativa en las ciencias sociales. En *Cinta Moebio*, 49: 1-10. Siglo XXI Editores, 2012. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-554X2014000100001>.
- Vieytes, R. (2004), Metodología de la Investigación en Organizaciones, Mercado y Sociedad. Epistemología y Técnicas. Buenos Aires. Editorial de las Ciencias.

En el actual contexto de cambio global y crisis hídrica, la desalinización ha surgido como una solución para abastecer de agua a la industria minera ubicada en zonas de sequía, como es el caso de Chile y el Perú. Ante el creciente interés por instalar este tipo de industrias en las costas de estos y otros países de América Latina, se hace necesario comprender las ventajas y desventajas de este tipo de procesos, especialmente desde una perspectiva socioecológica, debido a la falta de consenso frente a sus potenciales efectos en el ambiente y las comunidades locales. El presente estudio ofrece una visión general del funcionamiento y la aplicación de las desalinizadoras, así como un análisis de sus potenciales efectos en los ecosistemas y paisajes costeros, tomando la situación de Chile como caso de estudio. Los resultados muestran la escasa información científica concluyente que existe a nivel local, así como la falta de regulación y legislación específica para el uso del agua de mar en el país. Se espera de este modo brindar insumos a los responsables de la toma de decisiones antes de que se masifique la instalación de desalinizadoras en las costas de Chile y otros países de la región.