

Con derecho al ambiente

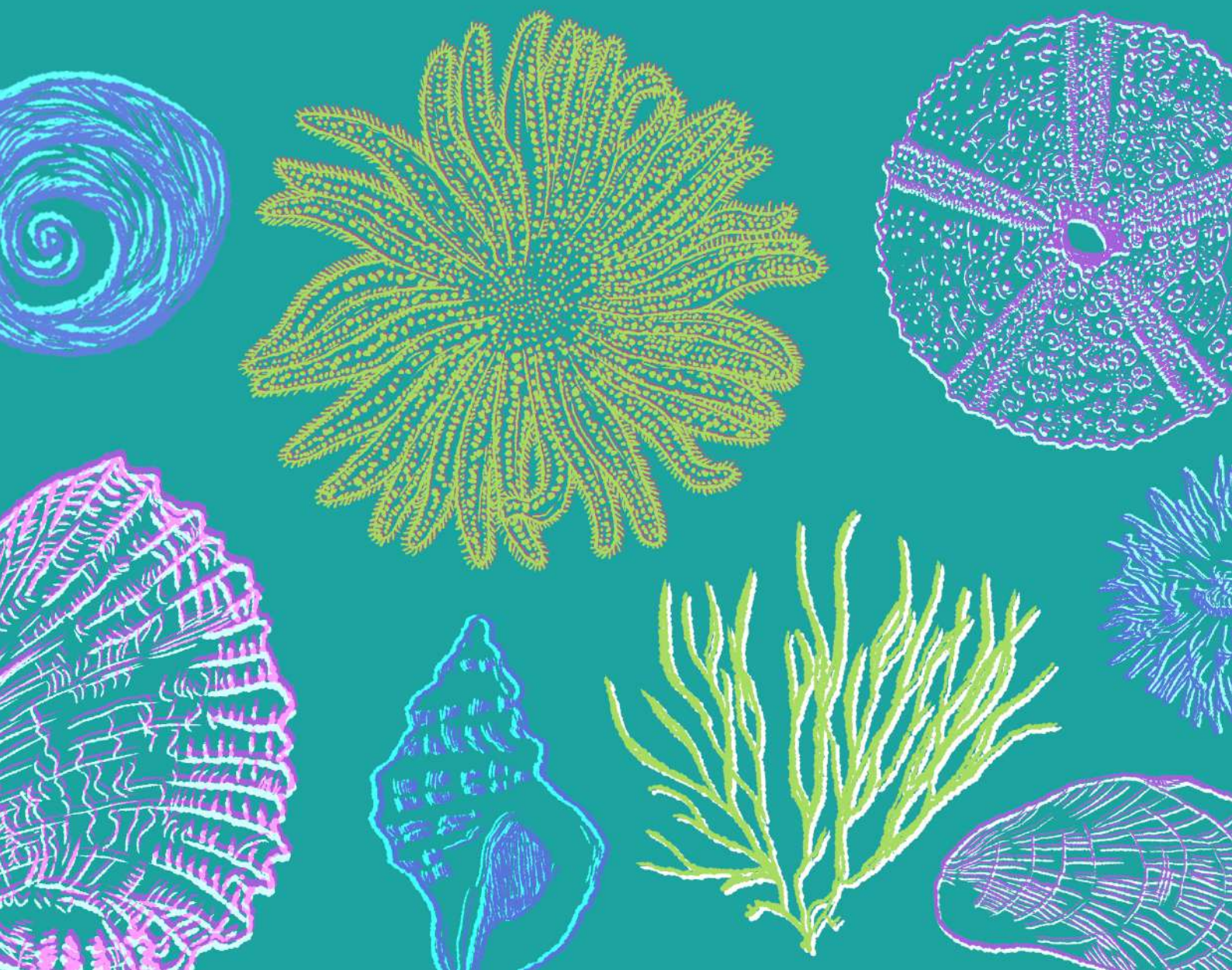


FIMA

ONG - Desde 1998

TRANSICIÓN SOCIOECOLÓGICA JUSTA EN CHILE: RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS FRENTE A LA DESALACIÓN DEL AGUA DE MAR

Estudio de caso en la comuna de Antofagasta
Marzo 2023



Transición socioecológica justa en Chile: recomendaciones para la protección de los ecosistemas marino costeros frente a la desalación del agua de mar

Estudio de caso en la comuna de Antofagasta

Investigadoras/es:

Constanza Gumucio

Abogada, candidata a magíster en Governance of Risks and Resources de la Universidad de Heidelberg.

María José Kaffman

Bióloga Ambiental, candidata al Magíster en Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza de la Universidad de Chile.

Sofía Valenzuela

Bióloga Ambiental, candidata al Magíster de Ciencias Biológicas de la Universidad de Chile.

Daniela Bravo

Socióloga.

Macarena Avilés

Ingeniera Civil Química, Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención Química de la Universidad de Chile.

Antonio Pulgar

Abogado, estudiante de Magíster en Derecho Ambiental de la Universitat Rovira i Virgili.

Colaboradoras:

Alexandra Fuentes

Geógrafa.

Francisca Herrera

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables

Rocío de los Ángeles Ramírez

Bióloga Ambiental

Diseño:

Constanza Núñez

ISBN Obra independiente:

978-956-09618-2-2

Agradecemos el apoyo financiero de la International Community Foundation realizado a través del financiamiento proveído por Oceankind en apoyo a la implementación de la Estrategia Marina para Chile de la David and Lucile Packard Foundation para el desarrollo de este material.

Editorial ONG FIMA

Cómo citar:

ONG FIMA (2023). Transición socioecológica justa en Chile: recomendaciones para la protección de los ecosistemas marino costeros frente a la desalación del agua de mar. Estudio de caso en la comuna de Antofagasta. Santiago.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| I. Introducción | 4 |
| II. Metodología de elaboración del informe | 6 |
| III. Descripción general de la desalación y sus impactos socioambientales | 7 |
| 1. Antecedentes en torno a la desalación en Chile | 7 |
| 2. Descripción del proceso de desalación: ¿Cómo opera una planta desaladora? | 8 |
| 3. Identificación de impactos socioambientales asociados a la desalación | 14 |
| 4. Descripción de la normativa que rige la actividad de desalación y el borde costero en Chile | 15 |
| IV. Estudio de caso sobre la desalación y la protección de los ecosistemas marino costeros en la comuna de Antofagasta | 21 |
| 1. Descripción de la comuna | 21 |
| 2. Caracterización de la desalación en la comuna de Antofagasta | 22 |
| 3. Identificación de impactos socioambientales en el caso de estudio | 26 |
| 4. Identificación de desafíos y oportunidades regulatorias a partir del caso de Antofagasta | 35 |
| V. Recomendaciones para la protección de los ecosistemas marino costeros en el contexto de una transición socioecológica justa | 42 |
| 1. La protección de los ecosistemas marino costeros es clave para enfrentar los desafíos climáticos | 43 |
| 2. Incorporar la desalación en el manejo integrado de cuencas y avanzar en la justicia hídrica | 44 |
| 3. Crear, actualizar y fortalecer los Instrumentos de Ordenamiento Territorial para la protección de los ecosistemas marino costeros | 45 |
| 4. Recomendaciones para la evaluación ambiental de los proyectos de desalación | 46 |
| Anexos | 48 |
| Anexo I: Tecnologías de desalación | 48 |
| Anexo II: Revisión bibliográfica de los principales Impactos socioambientales de la desalación | 48 |
| Anexo III: Identificación de plantas desaladoras en la comuna de Antofagasta | 48 |
| Anexo IV: Metodología cualitativa | 48 |
| Referencias | 49 |

I. INTRODUCCIÓN

La continua degradación de los ecosistemas de agua dulce, la disminución de las precipitaciones y el consecuente estrés hídrico que ello ha provocado, ha incentivado la producción de agua dulce de manera industrial, a partir de procesos de desalación. Entre otras cosas, esto significa nuevas presiones que ponen en riesgo la calidad de los ambientes marino costeros, su biodiversidad y los sistemas socioecológicos asociados.

Los océanos son fundamentales para la salud y vida en el planeta. El océano cubre el 71% de la superficie terrestre y contiene el 97% del agua del planeta, generando hábitats únicos que se interconectan con otros componentes del sistema climático mediante flujos de agua, energía y carbono (IPCC, 2019, p. 3).

Los océanos son también una de las principales reservas de biodiversidad en el mundo. Suministran la mitad del oxígeno que respiramos, son sumideros de carbono, sus ecosistemas y biodiversidad marina son fuente de alimento y sustento para millones de personas (ONU, s.f.), y también son parte de los valores culturales de la sociedad y para la realización de actividades económicas (IPCC, 2019, p. 3). La utilización de los bienes naturales que conforman los ecosistemas marino costeros han favorecido la generación de asentamientos humanos a lo largo de la historia para desarrollar actividades como la pesca, industria, turismo, transporte y comercio (Barragán, 2015, p. 66).

A pesar de lo anterior, los océanos y los ecosistemas marino costeros sufren presiones de carácter antrópicas como la contaminación y la industrialización, por la ausencia de planificación en torno a estos ecosistemas (Rangel-Buitrago et al., 2019, p. 15). Se encuentran evidenciando cada vez más los efectos del cambio climático, asociados principalmente al aumento de las temperaturas del mar y su acidificación, la que se produce al absorber cada vez más dióxido de carbono (CO₂) y la pérdida de oxígeno desde la superficie hasta los 1000 m de profundidad (IPCC, 2019, p. 7).

En este contexto, la desalinización ha surgido en Chile como una medida frente al estrés hídrico. Lo anterior, bajo el entendido de que las aguas desalinizadas podrían reducir las presiones sobre las fuentes de agua dulce (Fragkou y McEvoy, 2016), y como una alternativa que permitiría avanzar en algunas de las metas de mitigación para el cambio climático (Vicuña et al., 2022, p. 12, 67-75). Sin embargo, sus impactos deben observarse con cuidado, ya que podrían agregar nuevas presiones a los ya manifestados en los ecosistemas marino costeros.

La proyección de un aumento considerable en la instalación de plantas desaladoras es parte del proceso de transición, en tanto es una de las formas en que los sistemas sociales se adaptan a los cambios en el ecosistema. Siendo así, esta actividad requiere también ser reflexionada desde una mirada de transición justa.

El concepto de transición justa, si bien se inicia desde los movimientos sindicales como una forma de proteger las fuentes laborales ante la transición energética, envuelve hoy muchos más aspectos. Particularmente en Latinoamérica, los movimientos sociales han relevado la necesidad de observar, en estos procesos, aspectos de la justicia social y climática, ya que una transición puede a su vez producir otro tipo de impactos ambientales y sociales (Rivera, 2020, p.16). Esto ha modificado las fronteras de este concepto, transformándolo en uno con múltiples significados ya que lo “justo” en una transición puede ser conceptualizado de distintas maneras a partir de las experiencias de los actores (Heffron, 2022, p. 74).

Sin perjuicio de las múltiples formas que ha tomado el concepto, para efectos de este informe usaremos el presentado por el gobierno de Chile en la COP27, como parte del proceso de robustecimiento de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Es así como, para efectos del presente informe, se entenderá por transición socioecológica justa el “proceso que, a través del diálogo social y el empoderamiento colectivo, busca la transformación de la sociedad en una resiliente y equitativa, que pueda hacer frente a la crisis social, ecológica y climática” (MMA, 2022, p. 2). Esta conceptualización de la transición implicaría a la vez que los sectores productivos sean innovadores y sustentables en los territorios, que se lleven a cabo asegurando trabajos decentes, igualdad de género, la equidad territorial e intergeneracional, la resiliencia climática y la justicia ambiental y social, y que la meta de esta sea alcanzar el equilibrio ecológico y el bienestar físico, mental y social de las personas.

Para que exista una transición justa, una de las primeras variables a considerar es que ella sea intencionada en ese sentido, cuestión que requiere de acción pública. Sin embargo, en lo que nos ocupa en este trabajo, hay en Chile un vacío normativo con respecto a la extracción, tratamiento, distribución y consumo de aguas desalinizadas. Actualmente, la actividad se rige por un conjunto de normas que no se ajustan a la realidad del proceso de desalación de aguas marinas (Rojas y Delpiano, 2016, p. 107). Sumado a ello, en Chile son escasos los estudios sobre impactos que puede provocar la desalación de aguas de mar en los sistemas socioecológicos que habitan el borde costero en territorios específicos.

Resulta importante contar con estudios sobre los impactos de la desalinización, así como identificar oportunidades de mejoras regulatorias. Estos ecosistemas son fundamentales para mantener la vida en el planeta y la subsistencia de los asentamientos humanos costeros del país. De esta manera, el objetivo de la presente investigación es realizar un estudio exploratorio sobre el desarrollo de esta actividad en Chile, tomando como caso de estudio la comuna de Antofagasta. El criterio de selección se fundamenta en las proyecciones que sitúan a esta comuna como una de las comunas que verá aumentada en mayor medida la presencia de plantas desaladoras, siendo potenciada principalmente como una medida de adaptación de la actividad minera (Infraestructura Pública, 2019).

En el presente estudio se indaga en las características de esta actividad en la comuna de Antofagasta, en los impactos socioambientales que produce, y en el estado de la regulación e instituciones involucradas en el desarrollo de esta actividad. Ello con miras a identificar desafíos u oportunidades de mejoras en la regulación de la desalación y la protección de los ecosistemas marino costeros, en el contexto de una transición socioecológica justa.

II. METODOLOGÍA DE ELABORACIÓN DEL INFORME

La metodología de elaboración del informe contó con tres etapas:

- ***Recopilación de antecedentes a través de fuentes secundarias***

En una primera etapa se realizó un análisis de fuentes secundarias para recopilar información respecto a los aspectos sociales, ambientales y económicos de la comuna de Antofagasta, así como para describir el funcionamiento de las plantas desalinizadoras, y sus principales impactos socioambientales (más detalles anexo I y II).

Se realizó además un catastro y revisión de los proyectos ingresados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, para caracterizar los proyectos de desalinización que se encuentran operando en la comuna o que cuentan en estado de evaluación para ser desarrollados (más detalles en anexo III).

- ***Recopilación de antecedentes a través de fuentes primarias***

Con el objetivo de triangular la información recopilada en la fase de investigación de fuentes secundarias con la realidad local, se realizaron entrevistas en profundidad a expertos/as en materia de desalinización, y *focus group* con organizaciones territoriales de la comuna de Antofagasta (más detalles en anexo IV). El criterio de selección de expertos incluyó la participación de investigaciones en la comuna o que tuviesen vínculos con el territorio, para conocer sus percepciones. Así, el grupo de entrevistados estuvo conformado por:

- María Christina Fragkou, científica ambiental, experta en gestión de recursos hídricos.
- Tamara Monsalve, geógrafa, experta en gestión de recursos hídricos.
- Enzo García, ecólogo marino y científico ambiental, fundador de Bloom Alert.
- Maximiliano Bello, experto en política pública para la conservación de los océanos.

El focus group se realizó el mes de diciembre de 2022 en la comuna de Antofagasta, el cual buscó indagar la percepción, experiencia y conocimiento de los habitantes de la comuna sobre los impactos socioambientales relativos a la desalinización de agua de mar.

- ***Análisis de datos***

A través de una codificación abierta manual, se identificaron diversas categorías de análisis a partir de las dimensiones que surgieron como relevantes en el trabajo de campo. Estas categorías se interpretaron en diálogo con los hallazgos de la revisión bibliográfica y documental, para la identificación de impactos y desafíos, y la generación de recomendaciones para tomadores de decisión.

III. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA DESALACIÓN Y SUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES

1. Antecedentes en torno a la desalación en Chile

La desalación en Chile comienza en el año 1857 a través de procesos de desalación artesanal (Rojas y Delpiano, 2016, p. 113). Con la instalación de la “Planta Desaladora de Agua de Mar Antofagasta”¹ en el sector La Chimba el año 2003, comienza la modernización e industrialización de estos procesos (Plaza, 2017, p. 66.). Las plantas desaladoras que se han instalado tienen por fin principal abastecer de agua potable a la población. Sin embargo, también se han instalado para proveer de agua a diversas actividades productivas, como la minería y la agricultura (Rojas y Del Piano, 2016, p. 108).

Actualmente la desalación se posiciona como una solución para reducir los impactos de la crisis hídrica que enfrenta el país. Esta crisis, siguiendo a Vicuña et al. (2022), es posible de entender como la falta de seguridad hídrica, concepto que dice relación principalmente con la falta de agua para satisfacer las distintas necesidades existentes, pero también futuras, traduciéndose en una inseguridad, escasez o brecha hídrica (p. 24).

El concepto de escasez hídrica comprende una gran complejidad. Puede entenderse como un fenómeno provocado tanto por factores meteorológicos, como la baja en las precipitaciones y/o la afectación del ciclo hidrológico a raíz del cambio climático, como también por otros factores político-jurídicos, como la dispar distribución de las aguas, la sobreasignación de derechos de aprovechamiento de agua que han provocado la sobreexplotación de las cuencas o su contaminación, que dan cuenta de un problema de gestión de las aguas (Newenko, 2019, p. 5)

En este contexto, la desalación se ha comenzado a consolidar como una alternativa para abastecer de agua potable a comunidades costeras y para la realización de actividades productivas (Fragkou et al., 2021, p. 2-3). Las proyecciones de la instalación de estas plantas han aumentado además a causa de las estrategias y políticas nacionales de mitigación ante el cambio climático y de posicionamiento de Chile como líder en la creación y exportación de Hidrógeno Verde (Vicuña et al., 2022).

La existencia de ciertos impactos ambientales asociados a este tipo de actividades, que han sido documentados a nivel comparado, demuestra que la desalinización es susceptible de generar nuevas presiones a los océanos y sus ecosistemas. Estos impactos dicen relación con la succión de organismos acuáticos y semiacuáticos al momento de la extracción de agua de mar. De igual manera se encuentran documentados los impactos que generan los residuos de la desalinización, que normalmente son devueltos al ecosistema marino, presentando un alto contenido de sal, además de otros compuestos químicos dañinos para el medio ambiente (UNU, 2019).

¹ Generalmente conocida como Planta Desaladora Norte o Planta Desaladora La Chimba.

Esto afectaría la estructura, composición y funcionalidad de los ecosistemas marinos donde se instalan estas plantas.

A raíz de lo anterior, el Ministerio del Medio Ambiente solicitó al Comité Asesor Ministerial Científico para el Cambio Climático realizar un estudio sobre el desarrollo de plantas desalinizadoras en Chile. Así, el mes de enero del 2023 se publicó el primer informe a nivel nacional titulado “Desalinización: oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile”, donde se analizan las oportunidades y potenciales impactos que surgen en torno a la desalinización, y se realizan un conjunto de recomendaciones al respecto. Esto ocurre además en medio de la tramitación del Proyecto de Ley sobre el uso de agua de mar para la desalinización (Boletín 11.608-09), que busca establecer normas específicas para esta actividad.

En este contexto, la presente investigación de carácter exploratoria busca revisar cuáles son los impactos socioambientales que produce la desalación en Chile y cuáles son las brechas y oportunidades que se identifican en la aplicación de la regulación que rige la actividad. Ello con miras a generar propuestas que velen por la protección de los ecosistemas marino costeros, en un proceso de transición socioecológica justa.

2. Descripción del proceso de desalación: ¿Cómo opera una planta desaladora?

La desalación consiste en la acción específica de retirar la sal de las aguas saladas. Cualquier proceso de desalación implica la presencia de seis etapas principales: i) establecimiento; ii) captación de agua; iii) pretratamiento; iv) desalación; v) post tratamiento; y vi) descarga de aguas de rechazo. Estas etapas pueden desarrollarse utilizando diversas tecnologías, las que varían de proyecto en proyecto según las características del agua a tratar y el uso destinado al agua desalada, entre otros factores (Saavedra et al., 2022).

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques con las etapas de un proceso estándar de desalación, además de los respectivos flujos materiales de entrada y salida de cada operación.

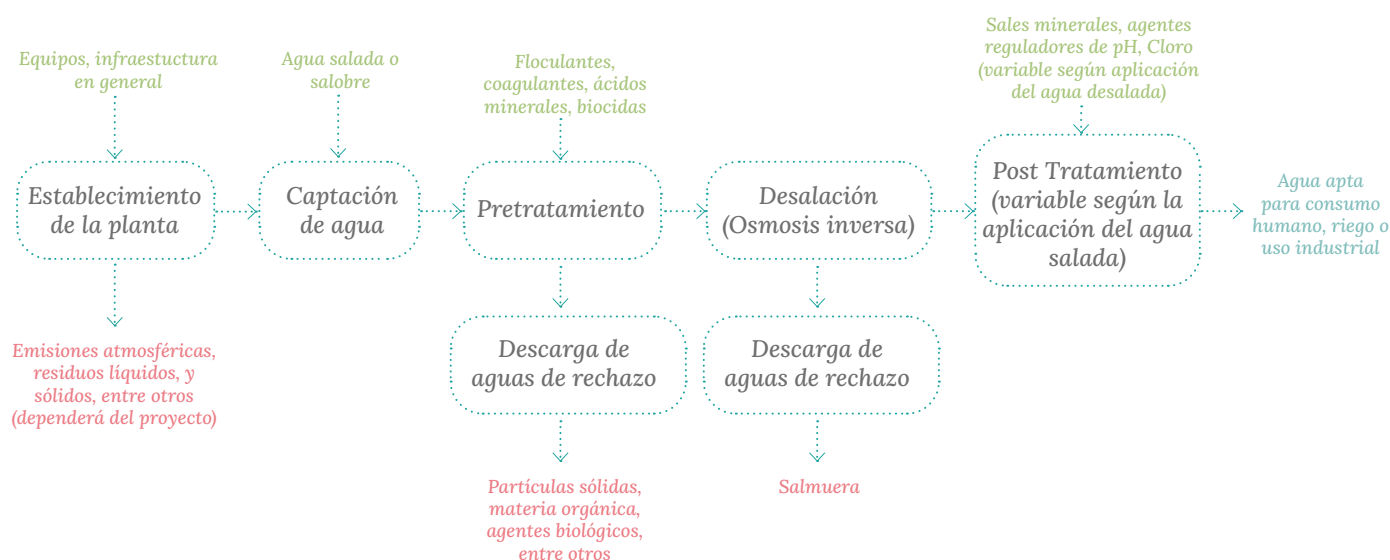


Figura 1. Proceso general de desalación.

Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes secciones se revisarán las etapas del proceso en detalle, explicando la fenomenología detrás del funcionamiento, los insumos utilizados y los residuos generados.

2.1. Establecimiento

Las plantas desaladoras requieren de diferentes instalaciones para poder operar, dependiendo de las características del proyecto. De manera general, la desalinización requiere al menos de: una planta de procesos, piscinas o estanques de almacenamiento de agua y reactivos, subestación eléctrica, torres y tuberías de captación de agua, cámara de carga y emisarios para la descarga del agua de rechazo. Además de acueductos para el transporte del agua producida hacia su destino final. Todas estas instalaciones generan cambio de uso de suelo en la superficie terrestre, además de alteraciones en el fondo marino por las tuberías y emisarios, los que pueden ir anclados o sobre el lecho marino, o parcialmente enterradas en este.

2.2. Captación de agua

Consiste en la extracción del agua cruda a procesar desde los distintos orígenes posibles (acuíferos, napas subterráneas y playas, entre otros). La captación de agua puede ser a través de una toma abierta² o cerrada³. Ello depende de las características que tendrá el agua a tratar (ver diferencias en el Anexo I, Tabla i). La calidad del agua condiciona a su vez el tipo de pretratamiento que debe realizarse previo a la etapa de desalación, y con esto la particularidad del agua de rechazo que es descargada al medio ambiente.

La captación de agua produce diversos impactos ambientales. La tecnología presente hoy en día ha implementado diversos mecanismos para reducir dichos impactos. A modo de ejemplo, en la captación abierta se suele considerar una entrada a la torre o cámara de captación con rejillas o pantallas ranuradas, con el fin de minimizar el ingreso de peces u otros organismos susceptibles de ser succionados. Con el mismo objetivo, se suelen implementar velocidades de captación de 0,1 m/s a 0,2 m/s (Saavedra et al., 2022). Igualmente, dado que las aguas que cubren la plataforma continental corresponden a las aguas de mayor riqueza y abundancia de organismos por la alta concentración de nutrientes provenientes de los ecosistemas terrestres, se ha observado que a medida que la captación se realiza a una distancia mayor de la costa, se reduce significativamente la succión y atrapamiento de organismos marinos. En este sentido, la US EPA (2011) recomienda situar las tomas de captación aguas adentro, a más de 120 metros de la zona litoral.

2.3. Pretratamiento

El pretratamiento corresponde a todas aquellas operaciones que buscan acondicionar el agua extraída a las necesidades específicas del proceso de desalación. Éstas se enmarcan en el cuidado de los equipos (principalmente membranas y bombas), que se deterioran fácilmente a partir de la formación de incrustaciones, ensuciamiento, y corrosión, entre otros.

Existen diversos tipos de obstrucción de los equipos que deben ser anticipadas para asegurar el correcto funcionamiento de una planta de desalación. Estas pueden ser causadas por la presencia de ciertos elementos en el agua como sedimentos y sólidos suspendidos, partículas coloidales y materia orgánica, además de compuestos químicos reactivos e incluso por la actividad biológica de microorganismos. Para evitar las obstrucciones descritas, se tienen distintas operaciones de pretratamiento, las que se utilizan dependiendo de la composición química del agua extraída.

² Captación abierta: Toma de agua directamente desde el cuerpo de agua, a través de torres de captación o tuberías elevadas o sumergidas, de largo desde 300 a 2.000 metros desde la orilla de la playa (Orostizaga, 2018). Se utiliza tanto para aguas salobres como saladas.

³ Captación cerrada: Toma de agua a partir de pozos o galerías de infiltración. Comúnmente utilizada para la captación de aguas salobres.

La eficiencia en el proceso de desalación por osmosis inversa está directamente relacionada con el estado de las membranas. Por esto es necesario no sólo realizar un pretratamiento, sino también mantenimientos periódicos que eviten su contaminación, la que puede suceder a través de la obstrucción física (ensuciamiento o fouling), biológica (bio-fouling) o por la formación de incrustaciones (scaling). La mantención de las membranas se realiza in situ (es decir, sin necesidad de desmontar los equipos), utilizando detergentes, ácidos y/o disolventes, los cuales son posteriormente descargados al medio ambiente en el agua de rechazo (Maddah y Chogle, 2017; Matin et al., 2019; Saavedra et al., 2022).

La Tabla N° 1 presenta las operaciones de pretratamiento más utilizadas antes de la etapa de desalación por osmosis inversa.

Tabla 1. Tipos de tratamientos previos a la osmosis inversa.

| Tipo de tratamiento | Operación | Descripción |
|---------------------|---------------------------------|--|
| Físico | Filtración | Eliminación de partículas y sólidos suspendidos a través del uso de filtros convencionales. |
| | Floculación - Coagulación | Adición de reactivos químicos que aglutinan o agrupan coloides de menor tamaño que se encuentran suspendidos, facilitando su precipitación. |
| | Sedimentación | Permite la decantación de los flóculos formados en la etapa anterior, facilitando su separación. |
| | Flotación | Busca la separación de elementos que no pueden eliminarse por decantación (algas, aceites, grasas, entre otros) a través de burbujes. |
| | Separación por membranas | Se utilizan membranas de micro o ultrafiltración como barreras físicas al paso de partículas de menor tamaño. |
| Químico | Intercambio iónico | A través de membranas selectivas que permiten extraer iones del agua cruda, disminuyendo la concentración de boro, arsénico y minerales. |
| | Precipitación | Corresponde a la disminución de la solubilidad de sales en el agua, provocando su precipitación. Se utiliza especialmente para eliminar iones de calcio y magnesio, responsables de la formación de incrustaciones. La precipitación de los compuestos se logra a través del aumento de la temperatura del agua. |
| | Acidificación | Corresponde a la adición de ácidos minerales (como el ácido sulfúrico) para evitar la formación de incrustaciones calcáreas ⁴ . |
| | Aplicación de anti-incrustantes | Evita la precipitación de sales cuando el agua está siendo filtrada en las membranas. |

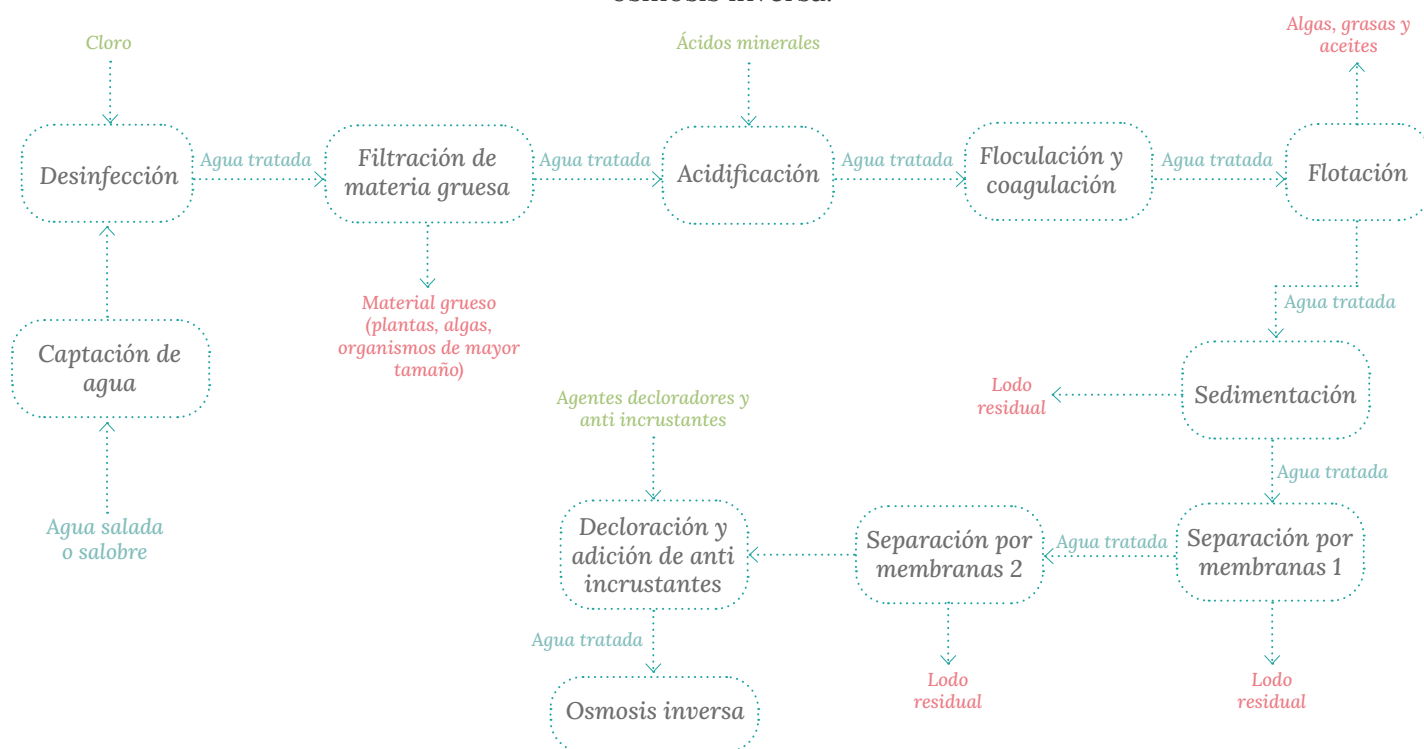
⁴ Una incrustación calcárea es un depósito de componentes ricos en calcio que se adhiere a una superficie. En el caso industrial, corresponde a la acumulación de compuestos de calcio y magnesio en las tuberías u otras superficies interiores de los equipos.

| | | |
|--|--------------|--|
| | Desinfección | Conocida comúnmente como cloración. Busca disminuir la proliferación de microorganismos a través del tratamiento con ozono, radiación ultravioleta o la adición de diversos biocidas, siendo el más común el hipoclorito de sodio (cloro). |
| | Decloración | Corresponde a la adición de químicos que buscan evitar el deterioro de las membranas debido a la exposición a altas concentraciones de cloro. |

Fuente: Elaboración propia a partir de Saavedra et al., 2022.

La Figura N° 2 presenta el resumen de un proceso estándar de pretratamiento para la osmosis inversa.

Figura 2. Diagrama de la etapa del tratamiento previo al proceso de desalinización por osmosis inversa.



Fuente: elaboración propia

2.4. Desalación

Existen diversos métodos para separar el agua de las sales presentes, sin embargo, el más utilizado hoy en día es el de osmosis inversa⁵. La osmosis inversa es un proceso de separación que utiliza polímeros, metales o cerámicas dispuestas como una capa, que permite el paso de algunas moléculas específicas y bloquea el paso de otras. Estas capas conforman equipos de desalación conocidos como membranas semipermeables. El nombre de osmosis

⁵ Para conocer en detalle otras tecnologías, ver Anexo I, tabla ii.

inversa se adjudica debido a que opera de forma contraria a lo que se conoce como el fenómeno natural de osmosis.

La osmosis directa es un fenómeno natural que ocurre al separar dos soluciones⁶ con distinta concentración de un mismo soluto⁷ por una membrana semipermeable. Bajo esta configuración, el solvente fluye naturalmente desde aquel volumen que tiene menor concentración de soluto al que tiene mayor concentración, con el objetivo de igualar las concentraciones en ambos lados de la membrana. En la osmosis inversa ocurre el proceso contrario: el solvente viaja desde aquella zona con mayor concentración a la que tiene menor concentración, lo que se logra a través de la aplicación de presión a la solución. Dicho funcionamiento se representa en la Figura N° 3.

La operación de la osmosis inversa es semejante a la de un filtro. Sin embargo, se distingue de los procesos comunes de filtración debido a que, si bien existe una separación física entre los sólidos presentes y el agua, también ocurre un proceso de separación química asociado a la separación de las sales que se encuentran disueltas en el agua.

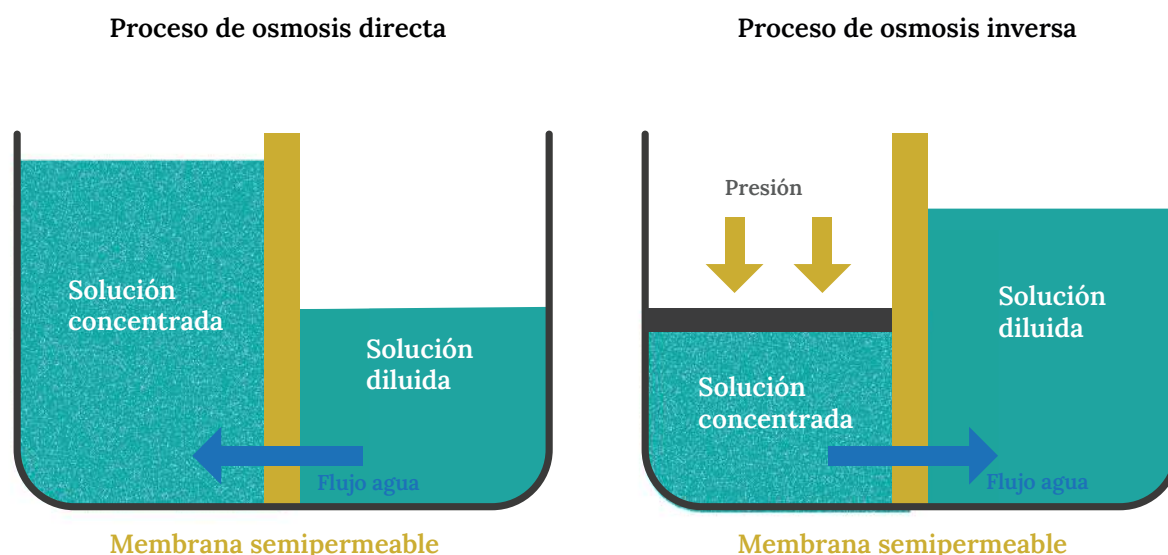


Figura 3. Proceso de osmosis directa e inversa.

Tras la osmosis inversa, se obtiene un flujo llamado “permeado” correspondiente al agua libre de sales, y otro llamado “salmuera” o “agua de rechazo”, correspondiente al material que es retenido por la membrana, que contiene sales concentradas y los distintos químicos utilizados durante el proceso (Burn & Gray, 2015).

Siguiendo a Saavedra et. Al (2002), actualmente distintos proyectos descartan el agua de rechazo al mar a través de un sistema recuperador de energía, cuya función es compensar parte de la energía utilizada durante la osmosis inversa, a través del paso del agua de rechazo por una turbina o convertidor hidráulico. Existen equipos que permiten transformar el movimiento del agua de rechazo en energía cinética o mecánica, según el equipo utilizado. Posteriormente, el agua de rechazo o salmuera es descargada en el mar, a altas distancias.

⁶ Una solución es una mezcla homogénea cuyos componentes (llamados soluto y solvente) no pueden ser separados por métodos mecánicos simples (como, por ejemplo, filtración).

⁷ Un soluto es el componente de una solución química que se disuelve en un solvente. Es posible que el soluto se encuentre en un estado físico diferente antes de ser disuelto, y que cambie de fase al añadirse al solvente (por ejemplo: en una solución de agua con sal, la sal corresponde al soluto y el agua al solvente. Al añadir sal al agua, la sal deja de observarse como cristales y se disuelve en el agua).

2.5. Post tratamiento

El post tratamiento tiene como objetivo ajustar las condiciones del agua desalada según el uso al que será destinada. De esta manera, los procesos varían según los requerimientos de calidad de agua.

Generalmente, el permeado obtenido a partir del proceso de desalación posee características corrosivas debido a su pH, concentración de sólidos disueltos totales, de metales y sales disueltas, entre otros. Debido a lo anterior, los procesos de post tratamiento suelen incluir operaciones de ajuste de pH, de remineralización, desinfección y desgasificación. Las variables a controlar dependerán en definitiva si el agua se utilizará para consumo humano, para riego o para la realización de procesos industriales⁸.

La Figura N° 4 presenta un esquema que resume las operaciones de post tratamiento según el destino del agua desalada:

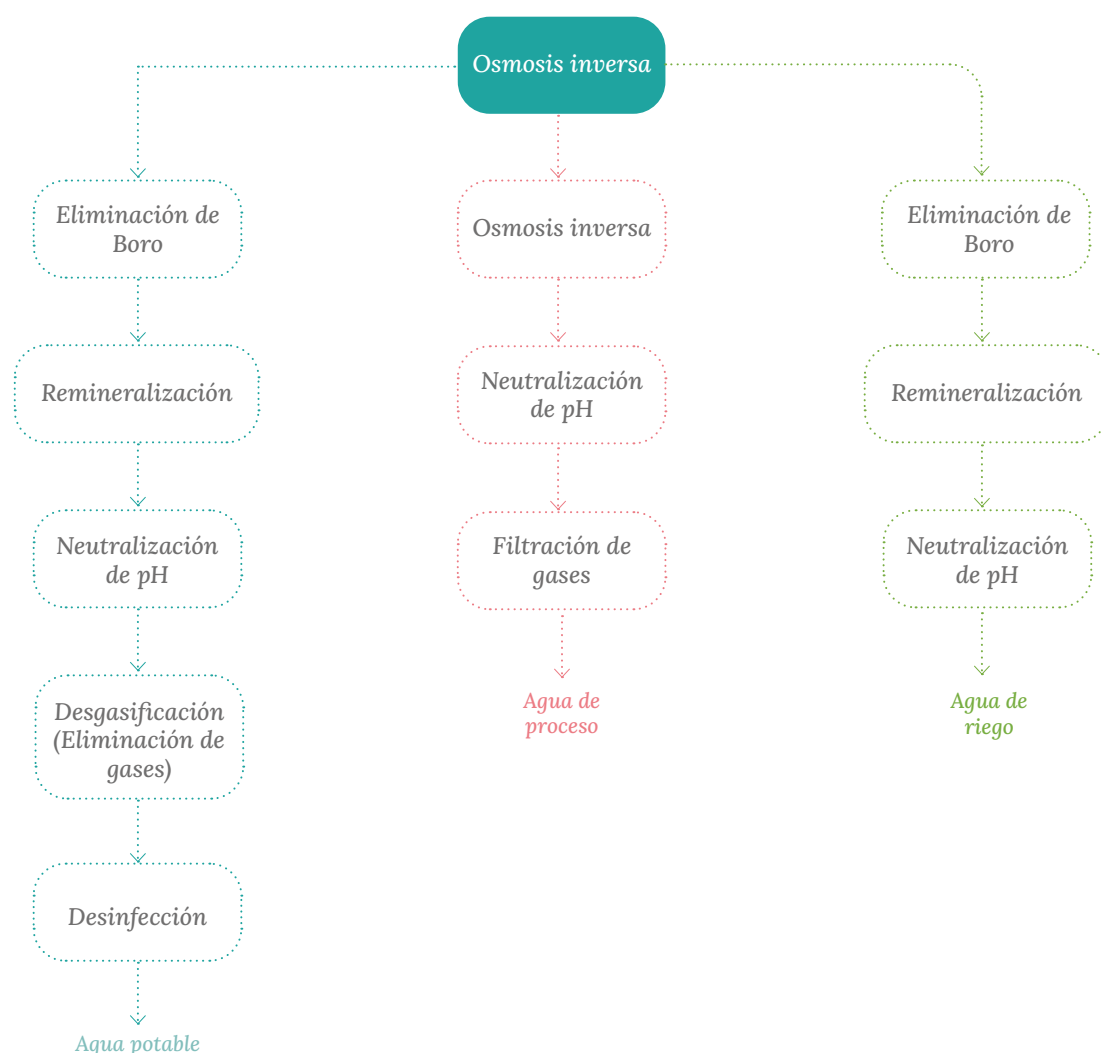


Figura 4. Proceso de post tratamiento según el uso del agua desalada.

Fuente: elaboración propia basado en Saavedra et al., 2022.

⁸ Para profundizar en las diferencias que existen entre las variables a controlar según el uso de las aguas, ver Anexo I, tabla iii.

2.6. Descarga de aguas de rechazo

Las denominadas aguas de rechazo son los residuos líquidos resultantes de la desalinización, y difieren del agua de origen en el contenido de elementos químicos, sales, temperatura y pH, dependiendo de la tecnología utilizada, la calidad del agua de origen y el uso final que se le dará a esta. Según un estudio realizado por la United Nations University (UNU) el año 2019, por cada litro de agua dulce producida, las plantas de desalinización generan en promedio 1,5 litros de aguas de rechazo.

Esta descarga muchas veces contiene no sólo una elevada salinidad, sino también los vertidos derivados del pretratamiento mencionados en la sección anterior, y de las labores de mantención de la membrana, incluyendo biocidas, coagulantes, floculantes, desinfectantes, detergentes, y agentes oxidantes y reductores, además de metales poco solubles, entre otros (García y Ballesteros, 2001; Einav et al., 2003; De la Fuente et al., 2008).

La disposición de estas aguas de rechazo se puede realizar a través de la inyección en pozos de desecho, o directamente en el mar, generando diferentes impactos, dependiendo de cómo estas se distribuyen y dispersan en el medio ambiente.

La descarga de aguas de rechazo produce diversos impactos ambientales. La tecnología presente hoy en día ha implementado diversos mecanismos para reducir dichos impactos. A modo de ejemplo, en la descarga se suele considerar el uso de difusores para promover una rápida dilución de la descarga, y de esa manera evitar la concentración de contaminantes en el medio marino. Igualmente, dado que las aguas que cubren la plataforma continental corresponden a las aguas de mayor riqueza y abundancia de organismos por la alta concentración de nutrientes provenientes de los ecosistemas terrestres, se espera que a medida que la descarga se realiza a una distancia mayor de la costa, se reduzca la alteración de organismos marinos.

3. Identificación de impactos socioambientales asociados a la desalación

Para la elaboración de este apartado se realizó una investigación cualitativa que consistió en una revisión bibliográfica para identificar los principales impactos socioambientales, positivos como negativos, que se generan a partir de la desalinización de agua de mar.

Los impactos ambientales generados por la desalinización pueden dividirse en función de las diferentes partes que componen el proceso de construcción y operación de una planta desaladora, presentadas en la sección anterior. En esta sección, para facilitar y simplificar la identificación de impactos, se considera el pretratamiento, desalación y post tratamiento dentro de la etapa denominada operación

La Tabla N° 2 presenta un resumen con los principales impactos generados por las plantas desaladoras. Para mayor información ver anexo II.

Tabla 2. Impactos socioambientales identificados a nivel comparado

| Etapa | Impactos | Detalles |
|-----------------|-------------------------------|--|
| Establecimiento | Afectación a la biodiversidad | <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de organismos terrestres de baja movilidad (-) • Alteración, fragmentación y pérdida de hábitat en el borde costero por cambio de uso de suelo (-) • Alteración, fragmentación y pérdida de hábitat en el lecho marino (-) |

| | | |
|------------------------------|--|---|
| | | <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de organismos bentónicos de baja movilidad (-) • Ruidos durante la construcción y por la utilización de explosivos (-) |
| | Alteraciones físicoquímicas | <ul style="list-style-type: none"> • Resuspensión de sedimentos y contaminación generados en la construcción (-) |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • Afectación al acceso al borde costero (-) • Alteración del paisaje (-)(+) |
| Captación de agua | Afectación a la biodiversidad | <ul style="list-style-type: none"> • Succión y mortalidad de organismos pelágicos (-) • Atrapamiento de organismos de mayor tamaño (-) |
| Operación | Contaminación | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la demanda energética (-) |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de agua (+) • Ruido (-) • Cambios culturales (-)(+) • Inequidad en beneficios (-) • Incertidumbre para la salud (-)(+) |
| Descarga de aguas de rechazo | Afectación a la biodiversidad | <ul style="list-style-type: none"> • Toxicidad en el fito y zooplancton (-) • Reducción de la productividad primaria (-) • Toxicidad en organismos bentónicos, principalmente en larvas (-) • Cambios en la estructura y composición de las comunidades bentónicas en la vecindad de la descarga (-) • Toxicidad en macroalgas y plantas marinas (-) |
| | Alteraciones físicoquímicas del medio marino | <ul style="list-style-type: none"> • Cambios en las características químicas del cuerpo de agua (-) • Acumulación de metales pesados en los sedimentos (-) • Formación de una capa densa estratificada en el fondo marino (-) |

Fuente: elaboración propia a partir de revisión de fuentes bibliográficas. Para más detalle ver Anexo II. Signos (+) y (-) corresponden a impactos positivos y negativos, respectivamente.

4. Descripción de la normativa que rige la actividad de desalación y el borde costero en Chile

El desarrollo de esta actividad comprende un entramado jurídico, que resulta necesario entender en función de su poca claridad. De tal manera, en este apartado se intentará sistematizar las distintas normativas aplicables al desarrollo de esta actividad, que den cuenta de las discusiones que actualmente se encuentran en un álgido desarrollo.

La actividad de desalación y, en general las actividades económicas emplazadas en el borde costero, requieren implementar coordinadamente, procesos de planificación, que hagan posible la prevención de impactos ambientales no proyectados. La incorporación

en el Derecho de los distintos sistemas de conocimientos en torno a esta actividad, dan cuenta de un desafío complejo, pues la normativa se encuentra actualmente fragmentada.

Las normas que actualmente se involucran en la actividad de desalación de agua de mar se resumen en la Tabla N° 3.

Tabla 3. Normativa aplicable para la desalación

| Materia | Normativa |
|---|---|
| Instrumentos de Ordenamiento Territorial que regulan el uso del Borde Costero | <p>D.S N°475, de 1994, Ministerio de Defensa, establece la Política Nacional de Uso de Borde Costero del Litoral de la República</p> <p>Ley N°21.074, de Fortalecimiento de la Regionalización del País</p> <p>Ley General de Urbanismo y Construcciones</p> |
| Autorizaciones de uso del Borde Costero y del agua de mar | <p>Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, 1982.</p> <p>Constitución Política de la República</p> <p>D.F.L N°340, de 1960, Ministerio de Hacienda, Sobre Concesiones Marítimas.</p> <p>D.S N°9, de 2018 Ministerio de Defensa, sustituye Reglamento de Concesiones Marítimas aprobado por D.S N°2 de 2005.</p> <p>D.F.L. N°292, de 1953, que aprobó la Ley Orgánica de la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante.</p> <p>D.S. N°991, de 1987, Ministerio de Defensa, fija la jurisdicción de las Gobernaciones Marítimas de la República y establece las Capitanías de Puerto y sus respectivas jurisdicciones.</p> <p>Código Civil</p> <p>Ley N° 18.882, General de Pesca y Acuicultura, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado por el Decreto N°430, de 1991, del Ministerio de Economía, fomento y Reconstrucción</p> |
| Evaluación Ambiental de los proyectos | <p>Ley N°19.300, Bases Generales del Medio Ambiente.</p> <p>D.S N°90/2000, Establece Norma de Emisión para la Regularización de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y continentales Superficiales.</p> <p>Convenio N°169 de la OIT sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes</p> <p>NCh409/1Of.2005, Norma Chilena de Calidad de Agua Potable</p> |

Mapa elaborado en base a información extraída de Plaza, 2017; Skewes, 2017; Rojas y Del Piano, 2016 y Silva, 2019.

4.1 Instrumentos de Ordenamiento Territorial que regulan el uso del Borde Costero

La regulación del borde costero se da principalmente a través de Instrumentos de Ordenamiento Territorial, que se definen como “todas aquellas normas, planes o estrategias que condicionan y/o direccionan la acción de transformación de los agentes públicos y privados sobre el territorio” (Pretch et al., 2016, p. 25).

El principal instrumento de planificación de uso del borde costero en Chile es el Decreto N°475, Política Nacional de Uso del Borde Costero (en adelante “la Política”). En la Política se establecen como objetivos generales el propender a la protección y conservación del medio ambiente marítimo, terrestre y aéreo, y a una adecuada compatibilización de las actividades que se realizan o puedan realizar en el Borde Costero. Así mismo, se considera posibilitar y orientar el desarrollo equilibrado de las diferentes actividades y contribuir a la identificación de las perspectivas y proyecciones futuras de las actividades que precisen ser ejecutadas en los espacios territoriales del Borde Costero para evitar su uso inadecuado o inconveniente, considerando que este constituye un recurso ilimitado.

La Política define el borde costero del litoral como: “aquella franja del territorio que comprende los terrenos de playa fiscales situados en el litoral, la playa, las bahías, golfos, estrechos y canales interiores, y el mar territorial de la República, que se encuentran sujetos al control, fiscalización y supervigilancia del Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría de Marina”. Crea además un organismo llamado Comisión Nacional de Uso del Borde Costero, el cual propondrá las zonificaciones del Borde Costero.

El artículo 1 del Reglamento de concesiones marítimas, D.S. N° 9, de 2018, del Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría Para las Fuerzas Armadas, define la zonificación como:

“Proceso de ordenamiento y planeamiento de los espacios que conforman el borde costero marino, lacustre y fluvial, que tiene por objeto establecer sus múltiples usos, expresados en usos preferentes o excluyentes, graficados de acuerdo a los instructivos dictados por el Ministerio que identifiquen, entre otros aspectos, los límites de extensión, usos y las condiciones y restricciones para su administración, de acuerdo a los criterios de compatibilidad, conforme a los objetivos establecidos en el DS N° 475 de 1994, del Ministerio de Defensa Nacional, que establece la Política Nacional de Uso del Borde Costero del Litoral de la República. Como resultado del proceso de zonificación, se podrán establecer áreas con usos preferentes que excluyan otros usos incompatibles”.

Adicionalmente, la Ley N° 21.074 de Fortalecimiento de la Regionalización del País, entregó a los Gobiernos Regionales la facultad de elaborar Planes Regionales de Ordenamiento territorial, pudiendo proponer para ello zonificaciones del Borde Costero o eventuales modificaciones a la zonificación vigente, en concordancia con la Política Nacional.

Además de la zonificación, existen otros Instrumentos de Ordenamiento Territorial que regulan los usos en el Borde Costero. La Ley General de Urbanismo y Construcciones, contenida en el Decreto con Fuerza de Ley N° 458, establece los instrumentos de planificación territorial, los cuales regulan zonas urbanas y se realizan en tres tipos de área: nacional, intercomunal y comunal. Los instrumentos de planificación que fija la ley son: El Plan Regulador Intercomunal o Metropolitano, Plan Regulador Comunal, Planes Seccionales y límite urbano. En el caso de que una urbanización o ciudad se encuentre en el borde costero estos instrumentos regulan también los usos de esta franja del territorio. Estos Planes se deben adecuar a los lineamientos que se establezcan en las zonificaciones y son de carácter obligatorio.

Por último, y siguiendo a Pretch et al. (2016), también es posible considerar como instrumentos de ordenamiento territorial a las Zonas Sujetas a Protecciones Especiales. Estas

son creadas según los criterios que fija cada sector a cargo de su administración y con distintas finalidades de protección, encontrándose dentro de esta última categoría: i) las Zonas de protección de la diversidad Biológica y el Valor Ambiental del Territorio, las cuales a su vez abarcan, entre otras figuras, a los Parque Marinos, Reservas Marinas, Áreas Marinas y Costeras Protegidas; ii) Zonas de protección Especial relacionadas a Comunidades Indígenas, las cuales a su vez abarcan a los Espacios Costero Marino de los Pueblos Originarios (ECMPO); iii) Zonas Sujetas a Protección Especial relacionadas con el turismo, abarcando a las Zonas de Interés Turístico Nacional; y iv) Las Zonas de Protección Especial del Patrimonio Cultural (Pretch et al., 2016, p. 81).

4.2 Autorizaciones de uso del Borde Costero y del agua de mar

En primer lugar, cabe dilucidar las distintas normativas aplicables que hacen posible el uso de las aguas de mar y las zonas costeras. Lo anterior hace aplicable tanto legislación nacional como internacional, para comprender dicho entramado jurídico. Así, cabe mencionar que Chile suscribió a la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar, donde se califican las aguas como “patrimonio común de la humanidad”. De lo anterior se desprenden una serie de obligaciones asumidas por el Estado para con la comunidad internacional, de resguardo y protección del mar territorial y su zona contigua.

En la normativa nacional, debemos comprender las reglas básicas que determinan el involucramiento del aparato estatal en el uso de la zona costera y el agua de mar. La Constitución Política de la República establece como regla general en su artículo 19 número 23 la libre apropiabilidad de los bienes, excepto: i) Los bienes que la naturaleza ha hecho comunes a todos los hombres; ii) Bienes que deban pertenecer a la Nación toda y la ley lo declare así; iii) los demás que la Constitución y las leyes señalen. Así, y siguiendo la clasificación del artículo 585 del Código Civil, el mar se incorpora dentro de aquellas cosas comunes a todas las personas. Esta es la clasificación que, adicionalmente, se ha seguido de manera histórica en el derecho internacional y en aquellos sistemas de raíz romana (Goldenberg y Celume, 2021, p. 136-138).

Ahora bien, en función de lo establecido en los artículos 589, 593 y 595 del Código Civil, se entiende que las aguas de mar son incorporadas dentro del dominio público. Sin perjuicio del ejercicio de la jurisdicción del Estado sobre esta porción de ecosistema marino, la naturaleza jurídica de las aguas marinas aún pervive como un tema sin resolución clara (Goldenberg y Celume, 2021, p. 139-141), pero sí es posible dar cuenta que la aplicación del estatuto de dominio público del Estado, requiere del otorgamiento de un título o autorización, en este caso una concesión, sobre una porción de agua, ya que el Estado debe administrar, asignar su acceso y gestionar estos bienes (Rojas y Delpiano, 2016, p.122; Hervé, 2015, p. 203). Lo anterior debe considerar, adicionalmente, la finalidad de interés público asociada al otorgamiento de una concesión sobre el dominio público, en este caso, marítimo.

En este punto, cabe mencionar que las aguas de mar no se rigen por el Código de Aguas, ya que el artículo 5° del Código de Aguas destina su aplicación de manera exclusiva a las aguas continentales. Lo anterior ha implicado que, para el otorgamiento de uso y aprovechamiento de los derechos de aprovechamiento de aguas, se genere una separación artificial y profunda de la regulación del ciclo hídrico, lo que en la práctica da cuenta de una incapacidad del derecho de incorporar las dinámicas propias de las cuencas.

En función de lo anterior, el D.F.L 340 sobre Concesiones Marítimas, señala que corresponde al Ministerio de Defensa Nacional, específicamente a la Subsecretaría Marina, el control, fiscalización y supervigilancia de la costa y mar territorial (artículo 1°). Por su parte, le corresponde a dicho Ministerio, por medio de la Secretaría de Marina, conceder el uso particular 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 (Artículo 2°). Por su parte, las concesiones marítimas se definen como “las que se otorgan sobre bienes nacionales de uso público o bienes fiscales cuyo control, fiscalización y supervigilancia corresponde al Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría de Marina, cualquiera que sea el uso a que se destine la concesión y el lugar en que se encuentren ubicados los bienes” (artículo 3°).

Así, para el caso de las aguas marinas, la concesión marítima se otorga mediante un Decreto Supremo, que se reduce a Escritura Pública. Corresponderá al Estado, a través de la Subsecretaría de Marina, su control, fiscalización y supervigilancia del uso del mar de la República (Plaza, 2017).

Para obtener la concesión se debe solicitar esta autorización a la Capitanía de Puerto con jurisdicción en el territorio donde se instalará el proyecto, para que, una vez que se cumpla con los requisitos establecidos en el Reglamento sobre Concesiones Marítimas, la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas otorgue la concesión o no (Rojas y Delpiano, 2016, p. 120-122). Es relevante señalar que según el D.S N°340, modificado por el D.S N°9, de 2018, que sustituye Reglamento de Concesiones Marítimas, la facultad discrecional de otorgar concesiones marítimas debe ajustarse a los usos y criterios de compatibilidad que se establezcan en la Zonificación Regional del Borde Costero vigente (artículo 14). Adicionalmente, se reconoce la posibilidad de generar condiciones u obligaciones en el decreto que otorga la concesión, cuya infracción puede dar paso a la aplicación de la caducidad, según los términos del artículo 105, letra c) del Reglamento.

Por otra parte, la desalinización también requiere del aprovechamiento de porciones de playas para poder instalar la infraestructura de la planta. Tanto el mar como las playas adyacentes son bienes cuyo uso pertenece a toda la nación, requiriendo también los particulares para hacer uso y goce de éstas, por medio de una concesión. De esta manera, se requiere concesión de infraestructura para la instalación de una planta desalinizadora en el borde costero. Esta concesión sólo autoriza el uso y goce del suelo por tratarse de bienes que pertenecen a la nación toda.

En síntesis, en lo que dice relación particular al agua de mar, el título aplicable para que el Estado otorgue el acceso y uso a terceros es la concesión marítima, excluyendo la aplicación del Código de Aguas, en conjunto con las características propias del derecho de aprovechamiento de aguas. Ahora bien, las concesiones marítimas escasamente regulan las condiciones de extracción y devolución de salmueras. Más bien, la concesión marítima está orientada a regular el acceso y uso del espacio físico de la zona costera concesionable, su temporalidad y finalidad, de manera fragmentada. En la concesión marítima no existe regulación de caudales de extracción del agua de mar, ni de calidad de los componentes ambientales -que se encuentran dentro del dominio público- que se integren como condiciones de ejercicio de las concesiones, lo que excluye cualquier posibilidad de control y fiscalización por los servicios dependientes del Ministerio de Defensa.

4.3 Normas que regulan la evaluación ambiental

La evaluación ambiental es un procedimiento que busca predecir los impactos que algunas actividades o proyectos son susceptibles de generar en el ambiente. En Chile la Ley N°19.300 establece diversos Instrumentos de Gestión Ambiental, dentro de los que se encuentra el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental⁹. Este instrumento es de carácter preventivo y de control sobre proyectos determinados (Bermúdez, 2015, p. 264).

⁹ La Evaluación de Impacto Ambiental es definida en la Ley N°19.300 como “el procedimiento, a cargo del Servicio de Evaluación Ambiental, que, en base a un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes” (artículo 2, letra j).

Los proyectos o actividades que por sus características son susceptibles de generar impactos ambientales, están listados en el artículo 10 de la Ley, y tienen que ingresar al Sistema, ya sea por Declaración de Impacto Ambiental o por Estudio de Impacto Ambiental. En el caso de los proyectos susceptibles de generar impactos considerados como significativos, que generan o presentan a lo menos uno de los efectos, características o circunstancias que se describen en el artículo 11, deben ingresar por medio de un Estudio¹⁰.

Debido a que en los estudios se presume la existencia de impactos significativos, estos presentan mayores exigencias que las declaraciones. Las principales diferencias entre estos instrumentos, son:

- a. Los estudios incluyen la elaboración de una línea de base;
- b. En los estudios existe un proceso obligatorio de participación ciudadana, mientras que en las declaraciones deben ser solicitados;
- c. Los estudios deben incluir medidas para hacerse cargo de los efectos adversos del proyecto o actividad, a través de un plan de medidas de mitigación, reparación y compensación;
- d. Los estudios deben incluir un plan de seguimiento de las variables que dan origen al estudio, de manera de asegurar que las medidas propuestas realmente se hacen cargo de los efectos adversos.
- e. Solo para el caso de los estudios si existe una variación sustantiva o no se verifican estas variables identificadas en el plan de seguimiento, se puede dar lugar a una revisión de la resolución de calificación ambiental.

Por último, todo procedimiento de evaluación finaliza con la dictación de un acto administrativo denominado resolución de calificación ambiental (RCA). En este acto se establece la aprobación o rechazo del proyecto o actividad, y las exigencias ambientales que deberán cumplir, bajo las cuales se otorgarán los permisos necesarios. Las medidas señaladas deberán responder a criterios técnicos solicitados por los organismos públicos con competencia ambiental que participan en el proceso de evaluación (artículos 24 y 25).

Con respecto a la evaluación ambiental de las desaladoras, uno de los principales problemas que existe es la ausencia de una causal directa de ingreso de estos proyectos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, ya que no se encuentran en el listado del artículo 10 de la Ley N°19.300. El ingreso de estos proyectos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental se ha dado principalmente al ser evaluadas como partes de otros proyectos (principalmente en obras de abastecimiento de agua para la minera o centrales termoelectricas) o por medio de otras causales, al contener acueductos (letra a) o ser parte de sistemas de agua potable (letra o) (Skewes, 2017, p. 46).

¹⁰ Los efectos, características o circunstancias del artículo 11 son: a) riesgos a la salud de la población, b) efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, c) reasentamiento de comunidades humanas, o alteración significativa de los sistemas de vida y costumbres de grupos humanos, d) localización en o próxima a poblaciones, recursos y áreas protegidas, sitios prioritarios para la conservación, e) Alteración significativa, en términos de magnitud o duración, del valor paisajístico o turístico de una zona, f) Alteración de monumentos, sitios con valor antropológico, arqueológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural.

IV. ESTUDIO DE CASO SOBRE LA DESALACIÓN Y LA PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS EN LA COMUNA DE ANTOFAGASTA

1. Descripción de la comuna

La comuna de Antofagasta se ubica en la Región de Antofagasta. De acuerdo con el Censo 2017, esta comuna posee una población de 361.873 habitantes, distribuyéndose principalmente en tres sectores de la comuna: la ciudad de Antofagasta, el pueblo Cerro Moreno y la Aldea Coloso. Un 97.9 % de la población se ubica en zonas urbanas y solo un 2.1 % en zonas rurales (INE, 2019).

El centro de la comuna es la ciudad de Antofagasta, cuyo emplazamiento está circunscrito a la estrecha planicie litoral que se desarrolla entre la cordillera y la costa, al costado sur oriental de la Bahía de San Jorge (23,3°S). La ciudad ha tenido un rápido crecimiento en 142 años de desarrollo, ubicándose como la principal ciudad del norte grande, amparada en la actividad minera regional, constituyéndose como su principal centro portuario y de servicios (Gobierno Regional de Antofagasta, 2020, p. 515).

Siguiendo a Piñones (2007), la Bahía de Antofagasta se puede identificar como un ejemplo típico de bahía en una región de surgencia, con aguas superficiales mucho más cálidas en comparación con las de las costas adyacentes (Piñones et al., 2007; Castilla et al., 2002; Avendaño y Cantilláñez, 2005). Esto se debe a que la topografía de la bahía reduce el efecto de las corrientes frías de surgencia provenientes de la corriente de Humboldt y reduce el nivel de mezcla en la columna de agua. Estas aguas cálidas superficiales son retenidas dentro de la bahía por varios días, en una escala de tiempo que es relevante para los florecimientos de fitoplancton y la dispersión de larvas de organismos marinos (Avendaño y Cantilláñez, 2005).

Con respecto al clima, la comuna de Antofagasta posee una marcada aridez, caracterizándose por la presencia del clima desértico costero nuboso, localizado a lo largo de la costa, que se distingue por la presencia de abundante humedad, neblinas matinales y la ausencia de precipitaciones. También se presenta el clima desértico interior, el que destaca por su aridez extrema, ausencia de humedad, gran sequedad atmosférica y una gran amplitud térmica entre el día y la noche (DGA, 2016, p. 11). Siguiendo la clasificación de Köppen-Geiger, la Región de Antofagasta se describe por tener un clima desértico frío. En sus costas, el clima desértico es más cálido en ciertos sectores, como en la ciudad de Antofagasta (IDE, 2017).

Finalmente, la comuna de Antofagasta posee ciertos lugares de valor ambiental y cultural. Al norte de la ciudad de Antofagasta se encuentra el humedal La Chimba, declarado santuario de la naturaleza en 2020, y el primer humedal urbano declarado desde la entrada en vigencia de la Ley 21.202 (MMA, 2021a).

Al norte de la bahía podemos encontrar el Parque Nacional Morro Moreno, donde cohabitan áreas costeras y continentales de alto valor por la biodiversidad existente, siendo una zona de gran interés cultural por los vestigios arqueológicos encontrados. En esta zona, destacan cerca de 90 especies de flora, de las cuales el 63% son endémicas, y cerca de 200 especies de fauna silvestre (Guerra et al., 2010, p. 16). Por último, la península de Mejillones, lugar que comparte territorio entre la comuna de Antofagasta y Mejillones, es considerada un sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad dada la importancia de las especies que lo componen, siendo una zona de nidificación y concentración de aves marinas donde se han encontrado vestigios de asentamientos humanos de larga data (Guerra et al., 2010, p. 4).

2. Caracterización de la desalación en la comuna de Antofagasta

La caracterización de la desalación en la comuna de Antofagasta tiene por finalidad entregar información sobre los principales fines de la desalación, los sectores productivos asociados a esta práctica, los principales recursos que utilizan y los impactos que pueden producir.

Para analizar la presencia de plantas desaladoras en la comuna, se realizó una búsqueda que contempla tanto los proyectos de plantas desalinizadoras, como de tipologías que las incluyen en proceso complementario, tales como centrales termoeléctricas y minería. Dicha búsqueda se centró en las plataformas digitales del Servicio de Evaluación Ambiental y del Sistema Nacional de Fiscalización Ambiental, con particular énfasis en la comuna de Antofagasta (ver Anexo III).

Dentro del expediente de los proyectos identificados, se enfatizó en la identificación del consumo de agua de mar, la producción de agua desalinizada, la producción de aguas de rechazo y el consumo energético de las plantas desaladoras. Igualmente, se individualiza la metodología de captación de agua de mar y de descarte de salmuera, los químicos utilizados en el proceso de desalación y los impactos declarados, entre otros (ver Anexo III).

De la búsqueda realizada, se encontraron ocho proyectos que contemplan plantas desalinizadoras en la comuna de Antofagasta. Tres de ellos corresponden a plantas en procesos complementarios de otros proyectos, mientras que los otros cinco corresponden a plantas desalinizadoras evaluadas como proyecto independiente. A su vez, además de estos ocho proyectos, se han presentado modificaciones al proceso de desalinización a través de dos declaraciones de impacto ambiental. La principal tecnología utilizada para realizar la desalinización en la comuna es la ósmosis inversa, con el 100% de los proyectos.

Las individualización y características de los proyectos se observan en la Tabla 4.

Tabla 4. Proyectos que contemplan desalinización en la comuna de Antofagasta y sus características de producción de agua desalinizada.

| Proyecto | EIA o DIA ¹¹ | N° RCA | Consumo de agua (L/s) | Producción de agua (L/s) | Aguas de rechazo (L/s) | Consumo energético |
|--|-------------------------|----------|-----------------------|--------------------------|------------------------|--------------------|
| Planta Desaladora de Agua de Mar Antofagasta - II Región Chile ¹² | DIA | 228/2001 | 1.223 | 602 | 621 | 11,6 MW |

¹¹ Estudios de Impacto Ambiental (EIA) o Declaración de Impacto Ambiental (DIA)

¹² También conocida como “Desaladora Norte” o ex “La Chimba”. Esta planta presenta al menos dos ampliaciones: (a) “Actualización y Ampliación Planta Desaladora la Chimba” N° RCA 397/2014, y (b) “Ampliación Planta Desaladora Norte” N° RCA 202102001120/2021. Estas ampliaciones son analizadas en el presente informe ya que modifican el caudal de consumo de agua, a diferencia de otras modificaciones realizadas a los proyectos catastrados.

| | | | | | | |
|--|-----|--------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| • Actualización y Ampliación Planta Desaladora la Chimba | DIA | 397/2014 | +548 ^a | +250 ^a | +338 ^a | 18 MW ^a |
| • Ampliación Planta Desaladora Norte | DIA | 202102001120/2021 | +2.609 ^b | +949 ^b | +931 ^b | 30,3 MWhb ¹³ |
| Planta Desaladora Sur Antofagasta | DIA | 208/2012 | 2.490 | 1.000 | 1240 | No indica |
| Planta Desalinizadora Piloto | DIA | 207/2004 | 7 | 2,8 | 2,8 | No indica |
| Lixiviación de Sulfuros | EIA | 136/2003 | 2.000 | 1.000 | 1.000 | 150 MW |
| Suministro Complementario de Agua Desalinizada para Minera Escondida | EIA | 205/2009 | 7.700 | 3.200 | 4.500 | 50 MW |
| Planta Desalinizadora de Antofagasta II Región | DIA | 54/1999 (no construida) | 2.317 | 925 | 1.292 | No indica |
| Central Termoelectrica de Ciclo Combinado Coloso | EIA | 036/1999 (no construida) | 11,2 | 6,4 | 4,2 | No indica |
| Aguas Marítimas | EIA | En Calificación | 19.502 | 8.102 | 11.400 | 9,5 MW ¹⁴ |

Fuente: Elaboración propia a partir de los documentos contenidos en los expedientes de evaluación ambiental en el SEIA (RCA, ICE y DIA/EIA). Ver Anexo III.

El 85% de la demanda de agua potable de Antofagasta y el 100% de la demanda de agua potable de Mejillones se cubren con desalación de agua mar, desde la “Planta Desaladora Norte”. Las obras que forman parte de la última ampliación de esta desaladora permitirían cubrir la demanda futura de agua potable de las comunas de Antofagasta y Mejillones, alcanzando el 100% de cobertura en ambas.

Dentro de las plantas operativas, la “Planta Desaladora Norte” es la de mayor capacidad. Sin embargo, el proyecto Aguas Marítimas, actualmente en evaluación, corresponde a la planta desalinizadora más grande a implementar en la comuna. Esta poseerá aproximadamente un volumen de captación de agua de mar siete veces el de la “Desaladora Norte”, cinco veces su capacidad de producción de agua desalinizada, y cuatro veces el volumen de aguas de rechazo.

Respecto a la distribución espacial de las plantas desalinizadoras en la comuna de Antofagasta, se observa en la Figura 5 que, de los ocho proyectos que contemplan desalinización¹⁵,

¹³ Solo se indica el consumo energético para la Ampliación Proyectada y Sistema de Desalación Adicional, de 112.984 MWh/año equivalente a 12,3 MWh. A este valor se le adiciono el consumo indicado en la modificación anterior a esta (18 MW).

¹⁴ Este proyecto contempla la generación eléctrica a través de turbinas de recuperación de energía, por lo cual se aporta a la Planta Desalinizadora una energía autogenerada con potencia total neta de 3,2 MW, lo que la deja bajo la tipología de central generadora mayor a 3 MW.

¹⁵ Una mayor descripción de estos proyectos como N° de RCA, coordenadas, metodologías de captación y descarte de agua de mar, consumo energético, químicos utilizados en el proceso, entre otros pueden ser encontrados en el Anexo III.

los tres correspondientes al sector minero se encuentran en punta Coloso, 3 km al Sur del límite urbano de Antofagasta, donde se emplazan las instalaciones industriales de Minera Escondida Ltda. Próximo a estos, se encuentran los proyectos de CT Coloso y la “Planta Desalinizadora de Antofagasta II Región”¹⁶, de los cuales ninguno fue construido. Finalmente, dado el nivel de densidad poblacional y requerimiento hídrico, los dos principales proyectos de sanitización de agua potable (Desaladora Norte y Sur), se encuentran en la ciudad de Antofagasta.

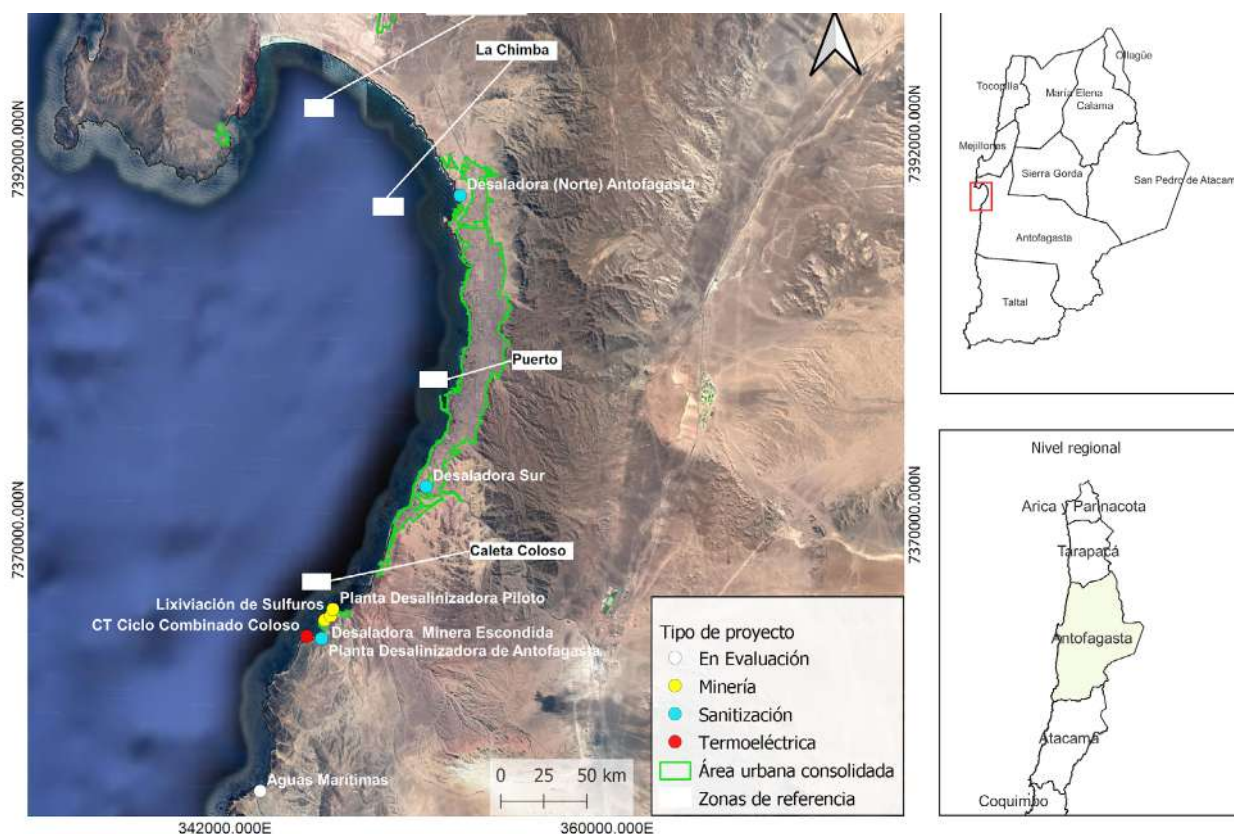


Figura 5. Proyectos que contemplan desalinización en la comuna de Antofagasta.

Fuente: Elaboración propia

La necesidad de generar agua desalinizada está determinada por su uso o destino, por lo que resulta de interés conocer los sectores productivos asociados a estas plantas desaladoras. A nivel comunal, se observa que tres de las seis plantas desaladoras se asocian al sector minero, mientras que dos plantas son para el abastecimiento de agua potable, y una planta (actualmente en calificación) se proyecta para múltiples usos, como lo señala la Figura 6.

De esta manera, podemos decir que el 50% de la infraestructura asociada a la desalinización es para el abastecimiento hídrico de la minería. Esta situación se asemeja a la observada a nivel regional, donde la minería corresponde al principal sector relacionado a la utilización de plantas desalinizadoras (Vicuña et al., 2022, p. 56), encontrando 13 de los 34 proyectos identificados asociados al sector minero, y 11 a la generación de energía, principalmente en centrales termoeléctricas. En total, sólo siete proyectos están dirigidos al abastecimiento de agua potable para la población a nivel regional.

¹⁶ En el caso particular de estos dos proyectos, no se encontraron informes de seguimiento ambiental o algún tipo de fiscalización en sus expedientes, y al revisar sus coordenadas por imagen satelital no se encontraron estructuras asociadas a estas, pudiendo indicar que no han sido construidos.

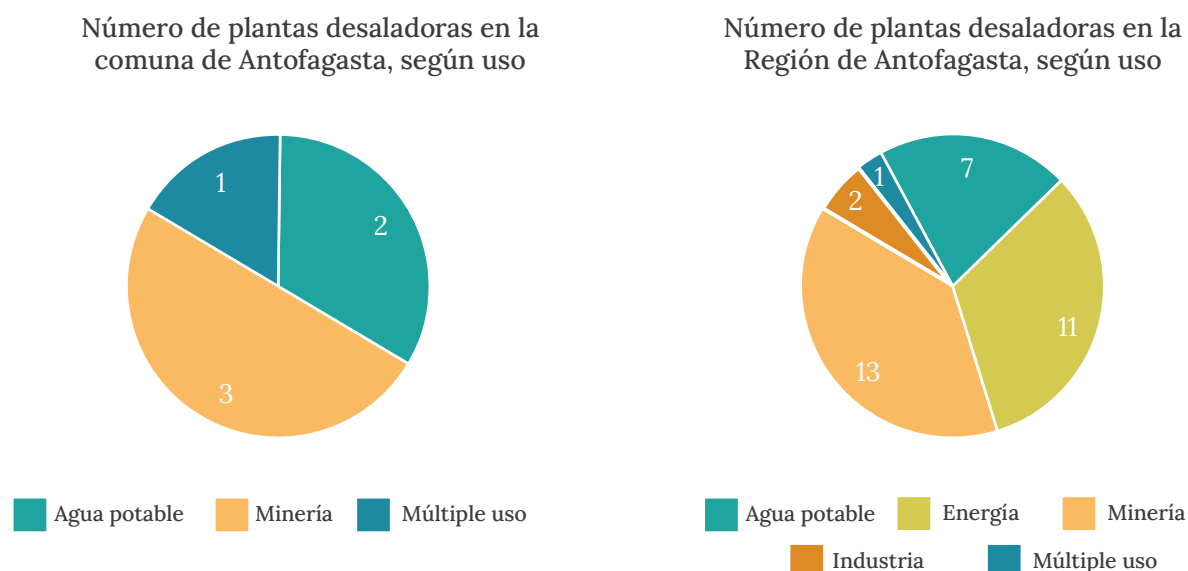


Figura 6. Distribución de los proyectos que contemplan plantas desalinizadoras según su sector productivo a nivel comunal (n=8) y regional (n=34).

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recopilada. Ver Anexo III.

Centrándonos particularmente en la producción de agua desalada en la comuna, la Figura 7 permite constatar que sólo el 18% del agua producida tiene como destino el abastecimiento de agua potable para la población, mientras que el 28% se asocia a la minería. Cabe mencionar que algunos proyectos, además de la generación de agua industrial, también consideran la generación de agua potable para los trabajadores de la planta.

El 54% de la producción de agua desalada corresponde a múltiples usos, y provienen del proyecto Aguas Marítimas, actualmente en calificación. Este proyecto llama la atención, dado que contempla la producción y distribución de agua desalinizada para los sectores de La Negra, Antofagasta Norte y Calama, tanto para consumo humano como para el potencial abastecimiento de sectores industriales “que lo requieran”¹⁷.

Producción de agua desalada en la comuna de Antofagasta

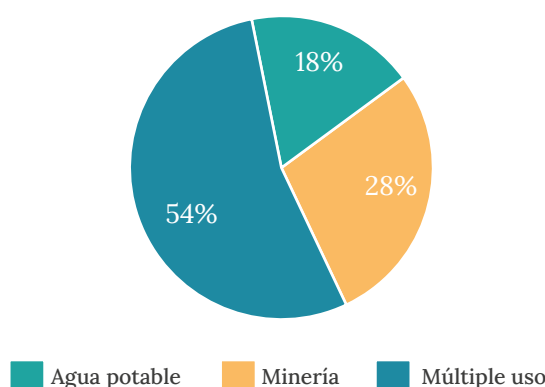


Figura 7. Proporción del agua desalada producida según su uso a nivel comunal.

Fuente: Elaboración propia a partir de la información recopilada

¹⁷ Proyecto Aguas Marítimas. Estudio de Impacto Ambiental, Capítulo N°1 Descripción del Proyecto.

3. Identificación de impactos socioambientales en el caso de estudio

A partir de la información recabada en la revisión bibliográfica, se estructuraron una serie de entrevistas a expertos que pudiesen aportar antecedentes sobre la verificación o potencial existencia en la comuna de los impactos identificados en la revisión bibliográfica. Sumado a ello, se realizó un *focus group* que fue complementado con la generación de una cartografía participativa entre representantes de organizaciones locales de la comuna de Antofagasta, para indagar en su percepción y diagnóstico sobre cómo estos impactos identificados a nivel internacional pueden tener lugar en la comuna de Antofagasta.

De tal manera, esta sección pretende develar la diversidad de impactos socioambientales que esta actividad genera. Así, se ha ordenado la información analizada en función de las distintas escalas en las que operan, a partir de lo observado en el caso de estudio. De tal manera, en los hallazgos, es posible encontrar tanto impactos que son posibles de identificar gracias a la revisión bibliográfica, pero existen otros impactos identificados que surgieron a raíz de las vivencias o conocimiento situado de los participantes en el análisis cualitativo.

Estos impactos en particular nos permiten aterrizar en dimensiones concretas la afectación de los sistemas socioecológicos. A partir de esta constatación, se deslizarán una serie de recomendaciones para incorporar dichos impactos a la discusión pública en torno a la desalación.

3.1 Impactos de escala nacional

a. Brechas en torno a la desalinización como medida para hacer frente a la escasez hídrica

La desalinización en Chile, y particularmente en Antofagasta, ha crecido como respuesta a la escasez hídrica. En este contexto, la justicia hídrica aparece como concepto que alude a los conflictos asociados a la gestión, abastecimiento y propiedad del agua, abordando los despojos y la acumulación que existe en ciertos territorios desde una mirada de la equidad y justicia social. Con este concepto se busca relevar las estructuras de poder e intereses que existen detrás del agua (Fragkou et al., 2021, p. 3).

En la investigación, surgen dudas respecto a las causas y a la necesidad de desalinizar el agua de mar, y a la escala en la que se realizará. Para los participantes, si bien la desalinización es una solución factible frente a la escasez hídrica, no lo es de manera generalizada, debiendo ponderarse las cargas y beneficios que se producen a nivel sistémico.

Debido a la instalación de industrias extractivas en Antofagasta, que utilizan grandes volúmenes de agua para su operación, existe una disputa por el control de los acuíferos disponibles. Así, uno de los potenciales beneficios de la desalación es que permitiría descomprimir conflictos socioambientales existentes en torno al uso de cuerpos de agua continentales.

“Le bajamos la presión de extracción a recursos hídricos continentales que en zonas desérticas está cada día más amenazado, como sistemas lacustres altoandinos que siempre han sido ecosistemas muy delicados” (Enzo García).

Sin embargo, se propone que estos cuerpos de agua continentales debieran ser priorizados como fuente de recurso hídrico para el consumo humano frente al agua desalada.

“A una escala pequeña o a una escala municipal, es probable que la desalación si sea una buena fuente. Pero cuando estás en un territorio que sí tiene agua continental, debiera ser esa agua continental prioritaria para el consumo humano” (Tamara Monsalve).

“La gente en Antofagasta está tomando agua desalinizada esencialmente porque el agua fresca se utiliza por parte de la minería. La empresa sanitaria toma el agua que extrae con sus derechos y lo vende a la minería” (María Christina Fragkou).

De esta manera, más allá de la aceptación generalizada de la desalación como alternativa para hacer frente a la crisis hídrica, existe un cuestionamiento por el uso que se le da al agua desalada, evidenciando la necesidad de regularizar la actividad a nivel de política pública.

“Yo creo que el gran problema es el ¿para qué desalamos agua?” (participante focus group).

“La pregunta que me interesaría que se hicieran y que se respondiera antes de empezar a instalar esas cosas, es: ¿por qué necesitamos eso y para qué necesitamos eso? Eso es clave, porque si la necesidad es seguir manteniendo una industria sucia, de bajo costo, con grandes externalidades y marginación de los costos, como la industria minera, entonces no ¿Por qué vamos a seguir pagando las externalidades de una industria que no ha sido amigable con el medio ambiente?” (Maximiliano Bello).

“El otro problema, de una forma más estructural, es no tener un modelo de proyecto país, en donde vamos desalando para poder satisfacer necesidades de mercado. Entonces, el gran problema que existe acá es que todo se va para faenas mineras. No es el consumo humano lo prioritario acá, no es el consumo humano que hay en la región. El uso del agua es para la producción, y ese es el objetivo que se tiene” (participante focus group).

Finalmente, también se releva la necesidad de que esta medida vaya acompañada de otras alternativas para hacer frente al escenario de escasez hídrica.

“Considero que, de los países que la llevan en este tema, es Israel. Ellos, lo bueno que tienen -en este caso- es que también reutilizan el agua porque es una alternativa de que toda esa agua que se va, también las aguas grises, lo que sea, la vuelven a desalar y ya queda óptima para el consumo humano. Eso acá no se hace. Acá desalamos agua y la botamos después. O, de repente, no sé, necesitamos hacer algo con una calidad de agua que quizás no tiene que ser tan buena, por ejemplo, lavar un auto, que no necesita un agua potable. O la industria ocupa esa agua, que es de muy buena calidad, para hacer cosas industriales. Tampoco en Chile hay como esa medida de qué se hace tal tipo de calidad de agua para tal cosa” (participante focus group).

b. Necesidad de medir la afectación de los océanos y sus ecosistemas en un contexto de cambio climático

El cambio climático ha hecho que los océanos aumenten su temperatura, su nivel de acidificación, y bajen su concentración de oxígeno. Igualmente, se han visto cambios en su salinidad por la alteración del equilibrio entre las corrientes entrantes de agua dulce, las precipitaciones y la evaporación, y una aceleración en el aumento del nivel medio del mar debido al derretimiento de los mantos de hielo (IPCC, 2019, p. 7; Naciones Unidas, 2017, p. 4).

El IPCC estima que, desde 1950, numerosas especies marinas han experimentado cambios en su distribución geográfica y actividades estacionales como respuesta a los impactos que reciben los océanos (calentamiento, cambios en el hielo marino, pérdida de oxígeno). Esto genera cambios en la composición de las comunidades biológicas, alterando la estructura y funcionamiento de los ecosistemas marinos (IPCC, 2019, p. 10).

Por su parte, a los ecosistemas costeros se suman efectos causados por la intrusión salina, por el aumento del mar y por las actividades humanas que se realizan en el océano y el borde costero, afectando con ello a los sistemas naturales y su biodiversidad asociada, y a los servicios ecosistémicos que fluyen de estos ecosistemas (IPCC, 2019, p. 11). En este contexto, se releva la necesidad de planificar la desalinización dentro de un escenario de cambio climático, donde la adaptación y resiliencia de estos ecosistemas puede verse afectada.

“Creo que hay una falta de conocimiento respecto a la importancia del borde costero en todo sentido: en los ecosistemas que son claves, y en cómo el borde costero es clave, y va a ser uno de los más golpeados por las amenazas del cambio climático. Por ende, también la estabilidad y resiliencia de estos ecosistemas se va a ver afectada producto de una actividad” (Maximiliano Bello).

c. Impactos acumulativos y efectos sinérgicos

Ligado al punto anterior, en Chile existen otras presiones que han generado una fragilidad en los ecosistemas marinos y costeros. Las concesiones acuícolas, la pesca incidental, los vertidos de aguas residuales al mar, el tráfico marino y actividad portuaria, la basura marina y la sobreexplotación de recursos hidrobiológicos, ha significado una disminución en el número de especies que se encuentran en un estado sostenible de explotación, del 40,7% al 33,3% (MMA, 2020). Estas son algunas de las presiones que pueden generar sinergias con los impactos de las plantas desalinizadoras, afectando a los ecosistemas. De esta manera, se releva la preocupación de observar la protección de los ecosistemas marino costeros considerando todas las presiones de manera integrada.

“Sabemos que los ecosistemas costeros son los que tienen mayor presión humana, de todos los ecosistemas marinos. Entonces, obviamente si introducimos uno más, súmale eso (...) Por ejemplo, lo que hablábamos de la contaminación minera, la del desarrollo, súmale la extracción ilegal completamente fuera de control de algas pardas” (Maximiliano Bello).

En la literatura comparada, se han observado efectos en la vitalidad de macroalgas y plantas marinas (Argyrou, 2000; Buceta et al., 2003; Ruiz, 2005; Fernández-Torquemada et al., 2005). Estas especies forman sistemas estructuralmente complejos, que juegan un papel muy importante en la retención de sedimentos y en la protección de la línea de costa, además de ser formadores de hábitat para otras especies, y por ende refugios de biodiversidad. Esto hace que la degradación de estas especies alcance dimensiones ecosistémicas.

“Los bosques de algas son los generadores de la vida en la zona costera y pelágica. Por lo tanto, podrías estar afectando una zona mucho más grande si es que afectas ese otro ecosistema que ya está bajo amenaza” (Maximiliano Bello).

Sin embargo, también existe la apreciación de que dichos impactos no serían significativos.

“Finalmente, esas variaciones generan cambios en las comunidades bentónicas, pero tampoco es que la cuestión es un desierto, hay cambios, empiezan a habitar nuevos peces en la zona, se van a ir algunos que son un poco más sensibles” (Enzo García).

Se relevó también la importancia de comprender que la desalinización de agua de mar se da en un contexto particular, donde los ecosistemas marino costeros se encuentran en un estado sensible, por el cambio climático y de sobreexplotación, por la actividad humana que se realiza en el océano y en la costa. Estos escenarios se estiman como importantes para la toma de decisiones en torno a la necesidad y escala de la desalinización del agua de mar y uso del borde costero.

“Culturalmente aún nosotros pensamos que el agua es infinita y el mar es un depósito infinito en el cual nosotros podemos echar lo que queramos porque es súper grande. Pero resulta que tenemos los emisarios de aguas negras y grises, tenemos los emisarios de las desaladoras, tenemos, lo que sale por los dos puertos que tenemos en la comuna. Y un sinfín de cosas. En La Chimba se encontró unos galpones que estaban desarmados con barriles de cianuro, hay trazas de mercurio en el agua porque en ese lugar había lavaderos y almacigos de oro hace mucho tiempo atrás. Resulta que son metales tan pesados que siguen ahí. Y construyeron un balneario ahí, y de ahí mismo se saca el agua para desalar” (participante focus group).

“El océano no es infinito, es finito. Todos sabemos que está súper golpeado por la sobrepesca, golpeado por el plástico, está contaminado con residuos nucleares que no sabemos cuáles serán las consecuencias. Entonces, cuál es la sobrecarga que se le está dando al océano realmente. Ya tenemos una desaladora que no es tan vieja, tiene 20 años, y ya tiene el fondo blanqueado. Imagínate con 4, 5, 6 o 7 desaladoras. ¿Y para quiénes?” (participante focus group).

En la misma línea, a través del ejercicio de cartografía participativa, se identificaron y graficaron una serie de actividades antrópicas que operan cerca de las desaladoras y que podrían potenciar los efectos negativos en los ecosistemas. Entre estas, se encuentran conflictos como filtraciones de hidrocarburos y concentraciones de metales pesados¹⁸.

d. Consumo de energía

Uno de los impactos que se ha estudiado a nivel comparado es en torno al consumo energético que se requiere para la desalinización (Afgan et al., 1999; Einav et al., 2002). En ese contexto, se releva por los distintos actores la importancia de analizar la instalación de estas industrias, en conjunto con un examen sobre las fuentes de energía que se utilizarán, de manera que no se reproduzcan o generen nuevos impactos dañinos para el medio ambiente y las personas.

“Pero también hay otro tema, que está involucrado de manera indirecta, que es el tema de la energía que se ocupa” (participante focus group).

“Para el tema energético, yo creo que son impactos más ambientales, pero igualmente se necesita mucha energía para poder producir este tipo de agua” (María Christina Fragkou).

“Una desalinizadora ocupa mucha energía. ¿De dónde va a venir esa energía? ¿quién va a habilitar esa energía? ¿qué fuente de energía vamos a utilizar?” (Maximiliano Bello).

3.2. Impactos a escala local

a. Modificación de sistemas de vida y actividades productivas

Las comunidades humanas históricamente han tenido una estrecha relación con los entornos costeros, encontrándose especialmente expuestas a los cambios que se generarán a raíz del cambio climático (IPCC, 2019, p. 3). Los efectos que este fenómeno ha provocado en la distribución y abundancia de poblaciones de peces y mariscos ha generado impactos tanto negativos como positivos para el turismo, la recreación y la seguridad alimentaria en términos de captura, beneficios económicos y subsistencia local, generando dificultades en la gobernanza de estos ecosistemas (IPCC, 2019. 14).

¹⁸ Ver Figura 8 para hitos identificados en cartografía participativa.

Es relevante insertar en este contexto la instalación de una industria cuyos impactos pueden potenciar una modificación en los ecosistemas marino costeros, y con ello, una afectación en los sistemas de vida de quienes habitan y se relacionan con estos ecosistemas. Esto puede darse a través de una alteración en las actividades productivas o recreativas de la población.

“Igual es preocupante, porque si uno va a la playa en verdad que no te puedes bañar porque el agua es demasiado salada. Y los pescadores igual han dicho que está blanqueado el fondo, donde está la desaladora” (participante focus group).

“Teniendo en cuenta que mucha de la población que vive en el norte de Chile vive en la zona costera y depende de los recursos de las actividades que ocurren en las zonas costeras (...), va a tener un efecto directo sobre la población y sobre la seguridad alimentaria, la calidad de vida y la posibilidad de otras actividades que puedan ser mucho más compatibles con el medio ambiente en el largo plazo” (Maximiliano Bello).

En este sentido, resulta especialmente relevante que la industria dialogue de forma adecuada con las comunidades que podrían verse afectadas por los impactos derivados de la instalación de plantas desaladoras en el borde costero, de manera de garantizar la participación y la toma de decisiones informadas.

“Yo creo que las plantas sí tienen que trabajar profundamente en su relación con la comunidad, y eso es algo que hoy día los proyectos lo están considerando (...). Creo que las plantas tienen que incorporar dentro de su planificación estratégica un trabajo muy cercano con la comunidad, para que efectivamente la comunidad entienda que los beneficios van a ser mucho mayores a los impactos, para que se puedan tomar decisiones informadas y efectivamente minimizar cualquier tipo de impacto que pueda venir incluso más de la apreciación que de un cambio mecánico sobre la cultura y los estilos de vida. Hay que aprender a convivir en el borde costero” (Enzo García).

b. Beneficios de seguridad y cobertura en abastecimiento de agua en lugares con poca disponibilidad hídrica

El abastecimiento de la ciudad con agua desalinizada se promovió como una solución para garantizar el desarrollo urbano de la ciudad y para eliminar los problemas crónicos de salud asociados al alto contenido de arsénico de las fuentes cordilleranas (Martín y Sánchez, 2002). El cambio en un hogar de tener acceso a una fuente de agua “interminable” modifica las conductas tradicionales asociadas a la escasez hídrica (Von Mendazza, 2004). Sin embargo, casi un 50% de la población rural de Antofagasta se mantiene aún con abastecimiento informal de agua potable, abasteciéndose desde pozos, ríos y camiones aljibes (Amulen, 2020).

De esta manera, la percepción general de los participantes guarda relación con una mejora en la calidad del agua con que se abastece la comuna de Antofagasta.

“Si uno conversa con gente más adulta, por ejemplo mi papá, que es una persona de casi 60 años, ellos tienen manchas blancas en la piel. Y eso es concentración de arsénico, y es porque el agua era muy pesada. (...) ¿Qué pasa cuando llega la desaladora? Tiene pros y contra. (...) Yo he medido parámetros de agua para ver qué tan tóxica es. Y resulta que para nosotros no es mala. Para la población de Antofagasta, desalar agua hoy, como al corto plazo, es más de beneficio que contra” (participante focus group).

“No nos olvidemos que Antofagasta en los años 60 tuvo la crisis del arsénico, y son todos problemas que hoy día estamos sacando de raíz, entonces, los beneficios sobrepasan por mucho los desafíos en materia de sostenibilidad ambiental” (Enzo García).

c. Creación de áreas verdes

El inicio de la industria de la desalinización del agua de mar genera un cambio sustantivo en el rostro de la ciudad en el uso de agua en áreas verdes, ya que el riego se realiza esencialmente con agua potable (Municipalidad de Antofagasta, 2013).

Las áreas verdes se implementan en áreas urbanas para controlar la contaminación, pero también como lugares de recreación, encuentro social, control de temperaturas y retención de agua, entre otras (Fundación Mi Parque, s.f). La generación de áreas verdes aparece de esta manera como uno de los beneficios de la desalinización en Antofagasta.

“Porque al final tener más agua para permitir que haya más áreas verdes que son necesarias, la gente necesita áreas verdes, lo quieras o no” (Enzo García).

Sin perjuicio de lo anterior, se levantan ciertas consideraciones en torno a la manera en se lleva a cabo la creación de áreas verdes, que dicen relación con una distribución inequitativa de éstas y con la eficiencia hídrica de estas áreas que debieran ser observadas.

“Hicimos un análisis de las áreas verdes en la ciudad de Antofagasta y encontramos que se aumentaron las áreas verdes, pero en las zonas que son, claro de niveles económicos más altos y no es que aumentaron en la superficie, sino que aumentaron en verde” (María Christina Fragkou).

“Como de pasto, de chépica, es una tontera gigantesca, y resulta que acá en Antofagasta nos esforzamos por tener grandes extensiones de pasto. Y toda la parte como la parte de ornato, en la parte como de jardinería en Antofagasta, y en gran parte de Chile, opera bajo una lógica muy de lo visual pero no de la función ecológica de ese pequeño parche de vegetación” (participante focus group).

d. Afectación de biodiversidad

Un impacto que se ha identificado a nivel comparado en torno a la desalinización es a raíz de las descargas que se realizan al medio marino, las cuales son susceptibles de afectar al zoo y fitoplancton (Stauber, 1998; Poornima et al., 2005; Chuang et al., 2009; López-Galindo, 2010; Ebenezer et al., 2012; Cortéz, 2015); y a las comunidades bentónicas, impulsando la sustitución de especies sensibles por otras especies adaptadas a situaciones de estrés (Chesher, 1971; Ruso et al., 2007).

“Entonces, hay lugares como esos, como el archipiélago de Humboldt y otros, que son claves para poder hacer esa retención que mencionas y que finalmente genera esas surgencias que son extremadamente ricas. Si efectivamente tiene un impacto de este tipo, dependiendo de la magnitud, pero sí tiene un impacto de magnitud, importante en esa zona, obviamente esa zona se va a ver afectada con mayor intensidad producto de esa retención y esa surgencia que ocurre ahí” (Maximiliano Bello).

“Queda un agua de descarte que es agua con mucha concentración salina o algunos patógenos o algas. Y al final, eso es un volumen gigante porque Antofagasta necesita mucha agua, es una ciudad muy grande” (participante focus group).

En contraposición a dicho argumento, se sostiene por uno de los participantes que si bien existen impactos, estos pueden ser debidamente mitigados y compensados.

“La descarga de los desechos del proceso de osmosis inversa son ínfimos respecto a los beneficios que, por ejemplo, significa dejar de sacar agua de un lago en el desierto. Se han desarrollado distintas estrategias de mitigación que hoy día realmente solamente son validadas” (Enzo García).

Otro impacto que fue identificado a nivel comparado en el acápite anterior es la alteración, fragmentación y pérdida de hábitat en el borde costero y en el lecho marino (CEAMAR, 2016). Por parte de los actores se relevó la preocupación en torno a este punto.

“Esta desaladora nueva del lado sur se emplaza en un sector que, en mi opinión, es súper crítico porque hay harta fauna. Yo dedico mucho tiempo a caminar por los cerros, y hay mucha más vida de la que dicen en el desierto. Hay restos arqueológicos, hay patrimonio cultural, hay un montón de cosas dignas de conservar. Sin embargo, está toda la factibilidad técnica y legal para instalar una desaladora, lo que implica caminos, torres de alta tensión, implica un montón de otras cosas” (participante focus group).

A partir del ejercicio de cartografía participativa, los participantes lograron identificar y graficar varias áreas relevantes para la biodiversidad, incluyendo áreas protegidas, reservas nacionales, parques nacionales, humedales urbanos, entre otros, así como hábitats de distintas especies, como la isla Águila, hábitat de nidificación de diferentes aves, entre lo que se cree podría estar el pingüino de Humboldt¹⁹.

Lo anterior evidencia la necesidad de considerar en la planificación la especial afectación que la operación de desaladoras puede tener sobre estos ecosistemas y las especies que los habitan, toda vez que muchas de estas áreas de especial valor para la biodiversidad se encuentran en el borde costero.

3.3 Impactos a escala humana

a. Alteración de formas de vida

El abastecer a la población de agua potable desalinizada puede generar un aumento de costos asociados al consumo de ésta. La causa sería, en primer lugar, el aumento en los costos de producir el agua.

“Van a ser los usuarios que van a tener que pagar esta agua desalada que es cara. Es decir, si no hay una economía de escala, esta gente estaría pagando más de lo que ya paga y mucho más porque es una de las aguas más caras de Chile y que además no les gusta. Van a seguir comprando agua embotellada” (María Christina Fragkou).

“Interesante respecto a uno de los fenómenos de percepción que la gente dice, por qué ahora tengo que pagar agua más cara, porque inevitablemente el agua está más difícil de obtener y tenemos que ir a nuevas fuentes. Entonces, ahí posiblemente es algo donde el gobierno debiera mirar con atención, y ver cómo estabilizar los costos que paga el consumidor final frente a la implementación de nuevas tecnologías” (Enzo García).

Sin embargo, este aumento en el costo también se relaciona con la desconfianza que existe respecto del consumo de agua potable, basada en una percepción negativa de la calidad del agua desalada, que es considerada por los antofagastinos como no apta para el

¹⁹ Ver Figura 8 para hitos identificados en cartografía participativa.

consumo, pese a cumplir con la norma de calidad (Fragkou et al., 2021, p. 7). Esta desconfianza lleva a la realización de prácticas a nivel doméstico, como hervir el agua o comprar agua embotellada.

“También la población no considera seguro el mar como fuente porque lo ven contaminando, ven que hay mareas rojas, ven que hay pañales, basura” (María Cristina Fragkou).

“Son súper pocas las personas en Antofagasta que consumen agua de la llave. Todo el mundo compra botellas. Y eso es porque la cultura pop de Antofagasta dice que el agua no es potable por esto que pasaba antes (...). Pero es potable, completamente potable. Aun así, la gente no consume agua de la llave y compra en botella” (participantes focus group).

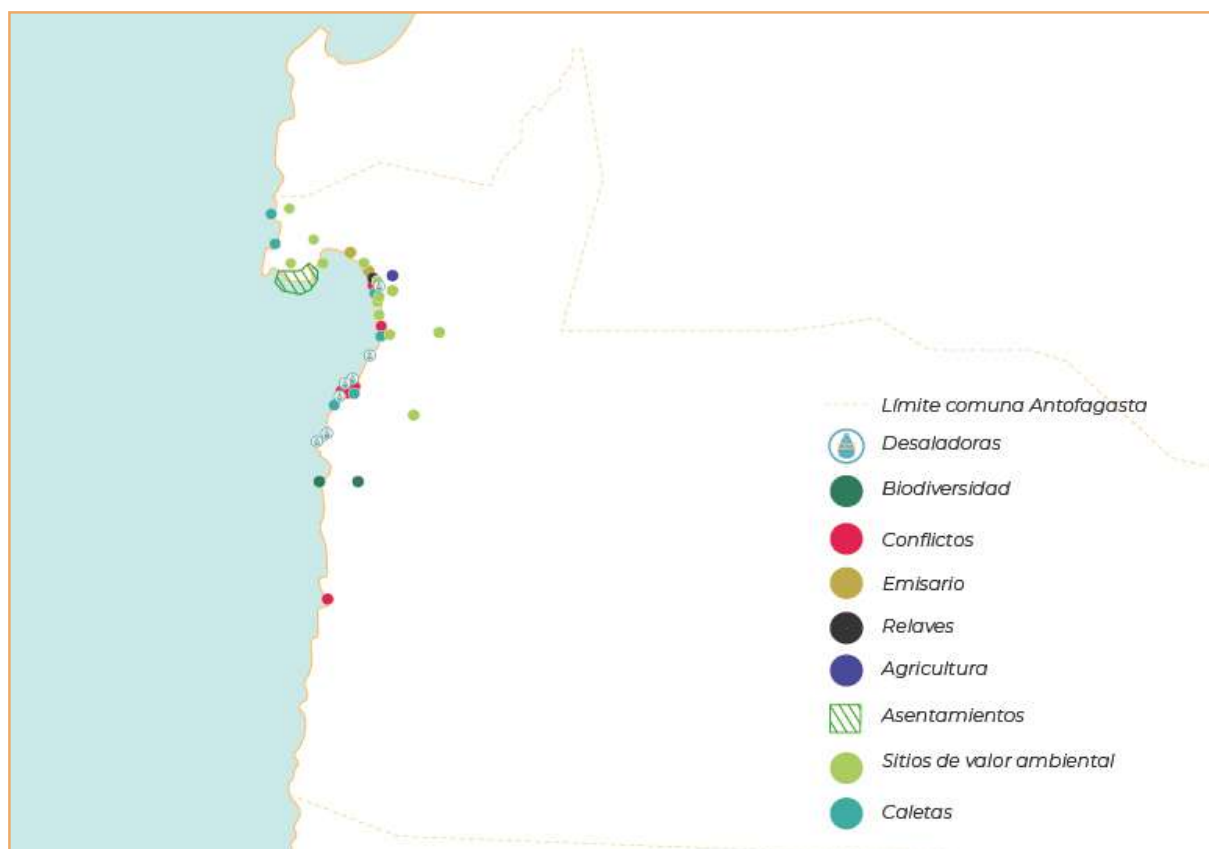
b. Impactos a la salud

Un último impacto que se ha identificado en la literatura comparada, y que es relevado en la investigación, es la incertidumbre en los impactos que puede producir a la salud de las personas el consumir agua desmineralizada. Esta incertidumbre tiene relación con el rol nutricional del agua, por el aporte de micronutrientes esenciales, donde se destaca el magnesio y el calcio. En ese contexto, la OMS (2011) reconoce la importancia de la mineralización del agua desalinizada. Sin embargo, no existen antecedentes científicos que permitan establecer rangos mínimos de micronutrientes necesarios en el agua. Además, generan alerta las altas concentraciones de boro resultante en el agua desalinizada, al ser un compuesto que pasa por la membrana de manera similar al agua (Cooley et al., 2006; Magara y Iso, 2010; Latorre, 2010).

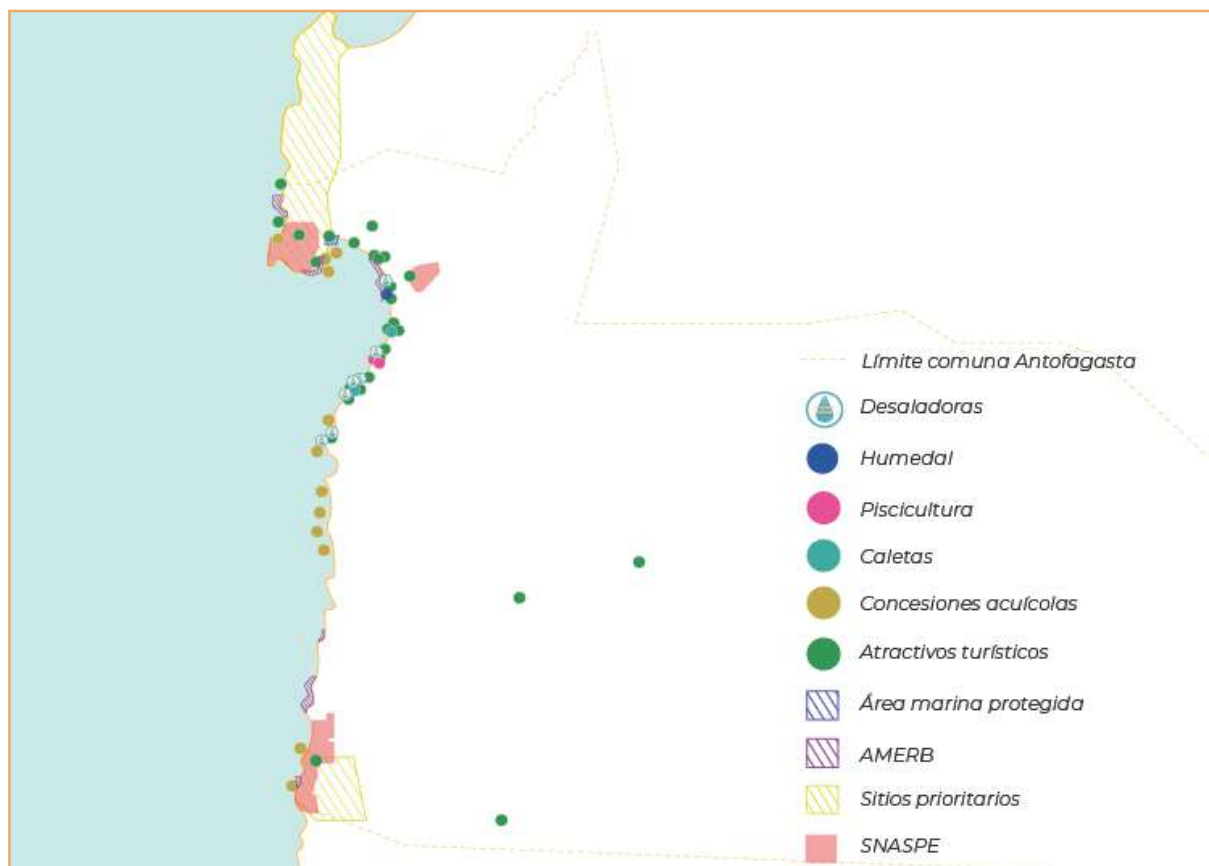
“Desconocemos los impactos que pueda tener en la salud como la falta de ciertos minerales que no se incluyen cuando no tenemos una normativa adecuada para consumir este tipo de agua” (Tamara Monsalve).

Pese a esto, los participantes consideran que el cambio de la fuente de agua potable -del agua precordillerana al agua desalada- representa una mejora en términos de los potenciales efectos negativos sobre la salud de la población.

“Lo más probable es que si nosotros a la comunidad les decimos como ‘las desaladoras hacen mal’, las personas más adultas te van a decir ‘sí, pero el agua con arsénico hace peor’” (participante focus group).



Fuente: Focus group



Fuente: Infraestructura de Datos Geoespaciales, Ministerio de Bienes Nacionales, Chile

Figura 8. Contexto geoespacial de las plantas desaladoras para la identificación de impactos socioambientales

4. Identificación de desafíos y oportunidades regulatorias a partir del caso de Antofagasta

Analizada la tramitación de los proyectos en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, los impactos identificados en la fase cualitativa y la normativa existente en la comuna de Antofagasta del borde costero, es posible identificar ciertas brechas y oportunidades en la regulación existente que posibiliten un desarrollo armonioso de la actividad de desalación con la protección del océano y de los ecosistemas marino costeros.

4.1 Instrumentos de Ordenamiento Territorial

A lo largo de la investigación se revelan posibles impactos socioambientales asociados al uso del Borde Costero y a la ubicación de las plantas desaladoras. Algunos de estos impactos son la pérdida y fragmentación de hábitat en el borde costero y lecho marino, la alteración del paisaje, y la modificación o pérdida de acceso al borde costero. Se prevé que estos impactos pueden ser abordados a través de Instrumentos de Ordenamiento Territorial, estableciendo distintos usos del borde costero y zonas de protección para el resguardo de la biodiversidad.

Como se señaló en el capítulo anterior, existen diversos instrumentos de ordenamiento territorial que por mandato legal deben regular los distintos usos del borde costero, velando por la protección de los ecosistemas presentes en este. Uno de estos instrumentos son las zonificaciones establecidas en la Política Nacional de Uso de Borde Costero. La importancia de las zonificaciones es que estas definen cuales son los usos posibles en este territorio, espacio donde a la vez se aplican otros Instrumentos de Planificación Territorial de carácter obligatorio, que debiesen incorporar los lineamientos establecidos en las zonificaciones. Estos instrumentos son el Plan Regional de Desarrollo Urbano, Plan Regulador Intercomunal o Metropolitano, los Planes Reguladores Comunales y los Planes seccionales (Belmar, 2014).

Sin embargo, un problema que se presenta en general en torno a la planificación del borde costero en Chile, es que en la práctica existe una escasa articulación entre estos instrumentos. Lo anterior, se explica ya que las zonificaciones son de carácter indicativo, no existiendo realmente una obligación de incluir o vincular estas zonificaciones en otros instrumentos como el plan regulador comunal (Martínez et al., 2019, p. 19).

A ello se suma que tampoco hay una metodología clara sobre cómo realizar dichas zonificaciones, por lo que no existe uniformidad en la elaboración de estas (Martínez et al., 2019, p. 19), y en la práctica ha existido una demora en la tramitación de estos instrumentos, provocando que a la fecha hayan escasas zonificaciones vigentes²⁰. Todo lo anterior se enmarca dentro de las limitaciones que involucra el operar bajo el concepto de 'borde costero' adoptado en la Política Nacional de Uso de Borde Costero, que no comprende realmente los dinamismos y múltiples factores que intervienen en la formación de una costa (Martínez et al., 2019, p. 9)

En el caso de la región de Antofagasta, el proceso de zonificación del uso del borde costero comenzó en 2012, quedando inconcluso por no poderse subsanar observaciones realizadas en el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica (Subsecretaría para las Fuerzas Armadas, s.f). Por su parte, el Plan Regional de Ordenamiento Territorial, también se encuentra en Evaluación Ambiental Estratégica, por lo que a nivel regional no se cuenta con instrumentos de ordenamiento territorial que definan los usos del borde costero²¹. De todas formas, en la propuesta de Macrozonificación se considera a las desaladoras dentro

²⁰ Únicamente las regiones de Aysén y Coquimbo cuentan con zonificaciones vigentes y hasta la fecha no se aprueban los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial.

²¹ Requerido mediante Transparencia activa Solicitud de Acceso a la Información N° AB077T0001045, sin respuesta.

de la infraestructura sanitaria, pudiendo instalarse en las zonas cuyo uso sea “preferente de infraestructura” (Gobierno Regional de Antofagasta, 2014, p. 64)

Ahora bien, analizando los Instrumentos de Planificación Territorial regulados por la Ley General de Urbanismo y Construcciones, para las comunas costeras, existe un Plan Regulador Intercomunal del Borde Costero II Región (2004), que actualmente se encuentra en proceso de actualización. En relación a la protección de los ecosistemas marino costeros, en el artículo 4.2 del Plan Regulador Intercomunal del Borde Costero se establecen zonas de protección ecológicas asociadas a Monumentos, Parques y/o Reservas Naturales, a la conservación de la Fauna y/o Vegetación Endémica, y zonas de interés paisajístico, en las cuales se establecen condiciones para la realización de proyectos, actividades o construcciones, y obligación de contar con el pronunciamiento de ciertos organismos sectoriales para ello.

Por su parte, a nivel comunal la desalinización si es incluida dentro de los Instrumentos de Planificación Territorial. El Plan Regulador Comunal se encuentra vigente desde el año 2001, estando actualmente en trámite de actualización. En su Ordenanza Local²², se consideran “zonas especiales” donde se señala expresamente que pueden instalarse desaladoras (artículo 49). Además, según consta en el Decreto N°547 del año 2018 se dio inicio a la modificación del Plan Regulador de Antofagasta sector Chimba Bajo Costa y la Evaluación Ambiental Estratégica de este, con el fin de “definir las condiciones normativas que reconozcan el uso de suelo actual donde se localiza la planta desalinizadora de agua, y con ello permitir su ampliación, generando una nueva área especial asociada a la infraestructura sanitaria”. Con esta modificación se busca establecer las condiciones normativas que permitan la ampliación de la infraestructura sanitaria de la región.

Con respecto a la protección de los ecosistemas marino costeros, el Plan Regulador Comunal establece ciertas normas que permiten la protección de estos. Se establecen zonificaciones especiales que reconocen la existencia de áreas protegidas y se determinan usos compatibles con éstas. En el Plan se definen “Zonas Urbanizables con desarrollo condicionado”, dentro de las cuales se establecen a su vez zonas de “Reserva Natural y Turística” (Municipalidad de Antofagasta, 2012a, p. 98). Para estas zonas, se señala que solo se permiten actividades que sean complementarias con la conservación, resguardo y estudio de la Zona de Resguardo Natural (Municipalidad de Antofagasta, 2012b, p. 153). Siendo este el marco normativo local, el área protegida Reserva Marina La Rinconada, es incorporada dentro de esta categoría en el Plan Regulador.

Un antecedente a rescatar, es que el mismo Plan reconoce que existen ciertas zonas que no cuentan con protección oficial pero que deben ser resguardadas por medio del Plan Regulador. Este sería el caso del sector de nidificación del ave gaviotín chico que se encuentra en categoría de conservación “en peligro de extinción” (Municipalidad Antofagasta, 2012b, p. 305). Finalmente, existen dos planos seccionales para los sectores de la Negra y La Chimba, estableciéndose en este último una zona de protección del borde costero.

Sin perjuicio de los avances que significan estas incorporaciones, cabe recordar que los Planos Reguladores Comunales sólo rigen para las áreas definidas como urbanas, lo que en el caso de Antofagasta incluye el borde costero. Sin perjuicio de ello, según la información aportada en la Figura 5, es posible ver que sólo las desaladoras Norte y Sur se encuentran dentro del límite urbano, por lo que las otras cuatro desaladoras identificadas quedan fuera del ámbito de aplicación de estos instrumentos.

22 Municipalidad de Antofagasta, Plan Regulador Comunal de Antofagasta 2001, Ordenanza Local, Resumen Ejecutivo <http://200.42.173.246/transparencia/clientes/1/datos/Ordenanza%20Municipald%20Plan%20Regulador%20Antofagasta%202002.pdf>

4.2 Autorizaciones de uso del borde costero y agua de mar y la regulación de las aguas desaladas

En la investigación se identifican impactos relacionados al uso del borde costero y a la ubicación de las plantas, pero también al uso de las aguas de mar, que dicen relación con la operación de estas plantas, y al destino que se dará a las aguas desaladas. Entre los impactos perjudiciales se identifican la modificación en el uso del borde costero, restricciones en el acceso al borde costero, potenciales impactos a la salud y modificación de los sistemas de vida a nivel doméstico, así como impactos ambientales relacionados con la degradación y fragmentación del hábitat tanto en el borde costero como en el lecho marino, los caudales de extracción y deposición de las aguas de rechazo. Entre los impactos positivos se encuentran la posible descompresión de demanda en cuerpos de agua continentales, nuevas fuentes seguras para abastecimiento de agua potable y la creación de áreas verdes.

Frente a estos antecedentes se vuelve relevante revisar dos aspectos de la normativa que actualmente se aplica para el desarrollo de la desalación y el uso de las aguas desaladas: las normas que rigen las concesiones marítimas y, consecuentemente, la que rige el uso y aprovechamiento de las aguas desaladas.

Un primer desafío en torno al régimen que actualmente regula el uso de las aguas de mar por particulares, es que las concesiones sobre porciones de mar no incorporan dentro de sus condiciones de ejecución y operación aspectos relacionados a la protección de los ecosistemas marino costeros. Por ejemplo, de acuerdo con lo señalado por Rojas y Delpiano (2016), las concesiones permiten operar bajo el pago de una tarifa que solo permite instalar equipamientos, “sin poder regular la extracción de volúmenes de aguas por unidad de tiempo y características de ejercicio de ellas” (p. 120).

Por otro lado, Vicuña et al. (2022), sostiene que la experiencia ha demostrado que los condicionamientos que según el Reglamento de Concesiones Marítimas debieran contener las concesiones, no han sido suficientes para asegurar la protección de las zonas costeras. El otorgamiento de éstas tampoco se ha complementado o integrado con el procedimiento de dictación de los Instrumentos de Planificación Territorial (p. 124), lo que genera una fragmentación profunda entre ambos ámbitos regulatorios.

Con respecto al segundo de los aspectos a analizar, existe una discusión en torno a la naturaleza jurídica de las aguas desaladas y al título que habilita a quien realiza la desalación para aprovecharse de estas. Esta dice relación con si, una vez realizada la desalación de las aguas de mar, éstas siguen siendo parte del dominio público, por tratarse de un producto del agua de mar, o si pasan a pertenecer a quien produce esta agua desalada (Plaza, 2017, p. 74-75)²³.

Esto importa pues, las normas que rigen el uso y aprovechamiento de las aguas desaladas no son claras en la actualidad. Se ha sostenido que, si se consideran las aguas desaladas como un producto del agua de mar, estas debiesen regirse también por la Ley de Concesiones Marítimas. Pero si se les considera como aguas continentales, deben regirse por el Código de Aguas. En esta distinción radica el régimen de autorizaciones de uso y aprovechamiento aplicable a las aguas (Plaza, 2017, p. 76-78).

²³ Dada la transformación que sufre el agua de mar al ser desaladas, se han planteado dos líneas en torno a la propiedad de estas: (i) Una alternativa es entender que las aguas podrían ser apropiables bajo un tipo particular de accesión (la accesión en el derecho es un modo de adquirir el dominio de una cosa que no tenían dueño previamente), que es la especificación (cuando de una materia que pertenece a una persona, otra persona hace una obra o artefacto). Según este modo de adquirir el dominio el nuevo dueño (desalador) puede reclamar la especie producida y pagar la hechura o una indemnización al dueño de la materia, que en este caso sería la nación toda, (ii) Por otra parte, se considera que la Constitución ha impedido que los particulares adquieran el dominio de las aguas, por lo tanto, la especificación no es procedente (Plaza, 2017, p. 73-75).

Algunas de las principales diferencias entre estos regímenes de autorización son (Plaza, 2017, p. 76-78):

- Duración de las autorizaciones: los derechos de aprovechamiento de aguas son indefinidos²⁴, mientras que las concesiones están sujetas a plazo,
- Los modos de extinción de la autorización,
- Las facultades otorgadas por el Estado, de uso y goce en el caso del derecho de aprovechamiento de aguas y de uso en las concesiones marítimas, generan distintas posibilidades para los titulares, lo que tiene efectos en la seguridad jurídica esperada para quien desarrolla la actividad.

Esta incertidumbre permite comprender las dificultades existentes para unificar el sistema de títulos y la delimitación de las facultades que el Estado otorga a quien desarrolle la labor de desalación. Así, las capacidades de planificación y balance hídrico por parte del Estado, son débiles en cuanto a poder unificar la disponibilidad hídrica, tendiente a asegurar la gestión integrada de las cuencas.

La desalación de agua de mar no resulta una solución lineal, considerando el déficit hídrico como una problemática de escasez (Vicuña, et al, 2022, p. 23-25). La desalinización como medida para aumentar la oferta hídrica puede obviar la estructura de gobernanza del derecho de aguas en Chile, teniendo como efecto el aumento proporcional de la demanda y, consecuentemente, de la acumulación de aguas continentales. Esto ya se ha observado en el caso de Antofagasta, toda vez que la desaladora Norte, pertenece a un conglomerado minero y de transportes en la Región, que al asegurar la provisión de agua potable de la comuna, se enfocó en la provisión de agua para faenas mineras, tanto de agua desalada como por medio de transferencia de derechos de aprovechamiento de aguas, obtenidos de fuentes continentales (Fragkou y Budds, 2019, p. 455).

Ahora bien, dentro de los instrumentos considerados en la Reforma al Código de Aguas (2022) y la promulgación de la Ley Marco de Cambio Climático (2022), se establecen los Planes Estratégicos Hídricos en Cuencas. El literal e) del artículo 13 de la Ley Marco considera como elemento obligatorio de este Plan las proyecciones presentes y futuras de aguas para ejercer el consumo humano, la conservación y preservación de la naturaleza. Para aquello, el Plan deberá considerar posibles nuevas fuentes hídricas para las cuencas hidrográficas, considerando específicamente “las mejores técnicas disponibles para la desalinización de agua de mar”, entre otras medidas procedentes.

De tal manera, la planificación impulsada por el proceso de creación de los planes estratégicos de cuenca debería considerar los posibles efectos contradictorios en los balances hídricos e integrar la gestión de las aguas de manera coordinada. Esto solo será posible por medio de la aplicación de un sistema de título o concesión en el que se regule específicamente la actividad de desalación y sus condiciones de operación.

Este sistema concesional debería integrar, coordinadamente, los criterios establecidos en los instrumentos de planificación territorial (Vicuña et al, 2022, p. 127), las proyecciones presentes y futuras de demanda de agua y la gestión integrada de las cuencas, para asegurar el cumplimiento de las obligaciones del Estado en torno a la seguridad hídrica.

²⁴ Sin perjuicio de la última reforma al Código de Aguas (2022), que estableció una temporalidad de 30 años para los derechos de aprovechamiento de aguas, no se contempla efecto retroactivo respecto de los derechos de aprovechamiento que cuenten con sus debidas inscripciones. De manera que se mantiene, para aquellos casos, la regla de perpetuidad de sus títulos.

4.3 Vacíos en la evaluación ambiental de las desaladoras e identificación de impactos

Finalmente, existen potenciales impactos que deben ser abordados en la evaluación ambiental de las plantas desaladoras, que se generan en todo el ciclo de producción, y que deben ser estudiados para establecer las medidas de mitigación, reparación y compensación pertinentes.

Entre los impactos que se pueden producir al medio ambiente se encontraron emisiones atmosféricas a causa de su alto consumo energético, generación de ruidos y vibraciones en la etapa de establecimiento y de operación, fragmentación y pérdida de hábitat en el borde costero y en el lecho marino, la succión y/o atrapamiento de organismos, y la suspensión de sedimentos y de contaminación. Esto junto a la emisión de sustancias tóxicas para fito y zooplancton, y para organismos bentónicos, generan cambios en la estructura, composición y funcionalidad de las comunidades biológicas, y cambios en las características químicas del cuerpo de agua y los sedimentos.

Todos estos impactos pueden verse potenciados o disminuidos por las características de la bahía, por la realización de otras actividades contaminantes en las cercanías de la planta, y por el estado de fragilidad en la que se encuentran los ecosistemas marino costeros a causa del cambio climático.

Por otra parte, las comunidades y habitantes de las zonas donde se instalan las desaladoras también se ven alcanzados por sus impactos, pudiendo existir algunos de carácter negativo como las modificaciones a sus sistemas de vida y potenciales impactos a la salud, si es que el agua desalada se utiliza para consumo humano, además de modificarse el acceso y uso del borde costero y con esto las actividades recreacionales y/o productivas.

Existe consenso en que los proyectos de desalinización deben ser evaluados para que sus impactos sean considerados en el marco de su evaluación ambiental (Skewes, 2017, p. 40). La relevancia de que un proyecto ingrese al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental de manera independiente radica en que se evalúan los potenciales impactos del proyecto en particular, debiendo cumplir este con cada uno de los requisitos establecidos en la Ley N°19.300, ya sea para descartar o para establecer medidas de prevención, mitigación o reparación de dichos impactos.

Sumado a la falta de tipología de ingreso, al no encontrarse debidamente documentados los diferentes impactos que puede producir una planta desalinizadora, las autoridades cuentan con pocos recursos técnicos para evaluar adecuadamente si los antecedentes aportados descartan los efectos del artículo 11 de la Ley. Como se señaló anteriormente, de los proyectos catastrados, cuatro ingresaron mediante Declaración de Impacto Ambiental y tres mediante Estudio de Impacto Ambiental²⁵, teniendo como consecuencia que la mitad de estos proyectos se han evaluado con un instrumento de menor exigencia ambiental.

En la mayoría de los casos se evalúan únicamente impactos asociados a emisiones atmosféricas y ruido submarino, alteración del paisaje, descargas al medio marino y posibles infiltraciones e impactos a la fauna terrestre. En el caso de las declaraciones se justifica la no generación de los efectos del artículo 11 en el diseño del proyecto, con tecnologías que minimizarían los impactos producidos. En el caso de los estudios, de igual manera, se descarta la generación de impactos significativos a través del diseño de los proyectos, donde se considera, por ejemplo, en la etapa de captación de agua el establecimiento de sifones a una distancia “suficiente de la costa”, el uso de barras en las obras de captación para impedir el ingreso de sólidos al sistema y la reducción de la velocidad de captación de agua para reducir el atrapamiento de organismos marinos.

²⁵ A la fecha de realización del informe el proyecto Aguas Marítimas aún se encuentra en evaluación mediante EIA, ingresado por la causal o3.

Para la etapa de descarga del agua de rechazo, se considera el uso de difusores de salmuera en el tramo final de los emisarios para así acelerar la dilución de los contaminantes²⁶. Asimismo, en la etapa de establecimiento, la instalación de acueductos subterráneos para no impedir el cruce de vehículos y de fauna terrestre, obras de hermoseamiento del borde costero²⁷, mejoramiento de acceso a playa y creación de proyectos turísticos recreativos que consideran playas artificiales para mitigar los impactos al paisaje²⁸. La mayoría de los proyectos no establecen impactos significativos, más allá de la afectación del paisaje, y en todos los casos las emisiones presentan medidas únicamente en lo que se refiere a las faenas de trabajo como la humectación de caminos y faenas.

En relación a este punto, y como consecuencia de la falta de una tipología de ingreso, no existen instructivos o guías que señalen los tópicos a tratar o las metodologías a utilizar para identificar y valorizar los impactos en la evaluación de este tipo de proyectos. Un ejemplo de la importancia de contar con ciertos antecedentes específicos sobre los impactos señalados anteriormente, se da en el marco de la incorporación del cambio climático en la evaluación ambiental, lo cual es fundamental para el caso de las desaladoras por operar en lugares que poseen ecosistemas frágiles ante este fenómeno.

El Servicio de Evaluación Ambiental, a través de la Guía Metodológica para la consideración del cambio climático en el Sistema Evaluación Impacto Ambiental (2023a), reglamentó la manera en la que se deben considerar los efectos del cambio climático para la evaluación de los proyectos. En esta, se señala la necesidad de contar con los antecedentes de localización del proyecto, su duración, las descargas de contaminantes y si este requiere extraer o utilizar componentes ambientales susceptibles a los efectos del cambio climático, como el agua o algas, o si requiere localizar su servicio en áreas susceptibles a eventos climáticos extremos, como el borde costero. Así, al contar particularmente con estos antecedentes de las plantas desaladoras, se puede considerar adecuadamente su sinergia con los efectos del cambio climático.

El año 2021 se publicó por la Directemar institución una Guía para la evaluación ambiental de proyectos industriales de desalación en jurisdicción de la autoridad marítima. Sin perjuicio de su aporte principalmente en la determinación de la línea de base de estos proyectos, la DIRECTEMAR no es el organismo a cargo de la evaluación ambiental de los proyectos, por lo que no cuenta con competencias pertinentes para realizar dicho proceso

Finalmente, la descarga de las aguas de rechazo requiere un especial tratamiento, al ser la parte de estos proyectos que mayores impactos puede causar tanto en los ecosistemas marino costeros, como en los sistemas de vida y en las actividades productivas de quienes habitan en la zona costera. Actualmente la DIRECTEMAR cuenta con una Guía para el modelado de la hidrodinámica y del proceso de mezcla de descargas salinas y térmicas, que es utilizado para la determinación del área de influencia (DIRECTEMAR, 2021). Sin embargo, en esta guía no se entregan directrices para la evaluación de efectos sinérgicos asociados a la interacción con otro tipo de descargas y se excluyen los elementos del diseño de los sistemas de descarga, que se asumen responsabilidad exclusiva de los titulares de los proyectos.

Lo anterior debe considerar que parte de la costa de la comuna de Antofagasta, como se mencionó anteriormente, se encuentra en la bahía San Jorge (23,3°S), la cual constituye uno de los pocos ambientes de Chile cuya costa se orienta hacia el sur. Desde el punto de vista oceanográfico, su morfología costera, sumada a un forzante de vientos sur y suroeste, sugieren la existencia de un flujo variable sur-norte paralelo a la costa y un giro

²⁶ RCA N° 136/2003, página 8.

²⁷ RCA N°036/1999, página 5.

²⁸ RCA N°205/2009, página 7 a 38.

en el interior de la bahía, lo que genera una zona inercial de baja energía que favorece la retención de aguas (Escribano & Hidalgo, 2001), lo que podría afectar el proceso de dilución de las aguas de rechazo. En este sector, se encuentra la Reserva Marina La Rinconada, la primera Reserva Marina creada en Chile, que alberga el único banco natural de Ostión del Norte (*Argopecten purpuratus*) existente en el país. Esta especie representa una importante fuente económica a nivel nacional, cuyas poblaciones y sus bancos naturales han ido en descenso debido a su intensiva extracción (DS N° 522/1997 del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo).

Al costado de esta bahía se encuentra ubicada la Desaladora Norte (ver Figura 5), la planta que posee la mayor capacidad de desalinización actual dentro de la comuna de Antofagasta. Pese a la singularidad del ecosistema presente en esta bahía, y a las condiciones de baja energía que favorecen la retención de las aguas, no se entregan mayores antecedentes que permitan monitorear los efectos susceptibles de generarse por la operación de esta planta desaladora. Igualmente, la Bahía de Antofagasta parece constituir un sistema semi-cerrado sujeto a una sombra de surgencia, lo que explicaría las densas agregaciones de organismos en su interior (Escribano & Hidalgo 2000). Esto hace de la comuna un sector muy productivo, donde se presentan aproximadamente 21 Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos y 21 concesiones acuícolas (ver Figura 8), muchas de las cuales se encuentran en sitios donde posteriormente se han instalado plantas desaladoras²⁹.

²⁹ Esto se observa en el proyecto Aguas Marítimas, el cual busca instalarse junto a la AMRB denominada Caleta Bofi, de la Asociación Gremial de Buzos Mariscadores y Ramos a Fines de Caleta Coloso AGEBUMAR A.G. y de dos concesiones acuícolas en tramitación de la pesquera San José. También se observa en la Planta Desaladora Norte, la cual se instala junto a la AMERBs denominadas La Portada, Caleta la Chimba, La Chimba y Península Guaman, pertenecientes a Sindicatos de Trabajadores Independientes de Pescadores Artesanales, Asistentes de Buzos y Buzos Mariscadores.

V. RECOMENDACIONES PARA LA PROTECCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS MARINO COSTEROS EN EL CONTEXTO DE UNA TRANSICIÓN SOCIOECOLÓGICA JUSTA

Las presentes recomendaciones se elaboran a partir de los hallazgos identificados a lo largo de la investigación, y buscan aportar a la discusión sobre cómo llevar a cabo una transición socioecológica justa, particularmente en torno a la protección de la zona costera y sus ecosistemas.

La desalación de agua de mar es una actividad que requiere ser estudiada y evaluada como una posible solución a la escasez hídrica y como medida frente al cambio climático. Sin embargo, en una transición socioecológica justa la búsqueda de soluciones a la crisis social, ecológica y climática, debe realizarse de manera sustentable, observando aspectos de justicia ambiental, social y climática para que no se produzcan o reproduzcan inequidades en los territorios. Y de hecho, la desalación ya se considera como parte de esta transición, al ser incorporado como elemento de análisis de los Planes Estratégicos de Cuencas.

En relación a la justicia climática, un aspecto principal es que en la planificación y desarrollo de la desalación en Chile se aborden todos los posibles impactos que pueda generar esta actividad en contexto de cambio climático, para evitar generar soluciones que luego impidan cumplir los compromisos que Chile posee en materia de cambio climático y que afecten la adaptación y resiliencia de los ecosistemas.

Particularmente, en el caso de los ecosistemas marino costeros, esto es del todo fundamental, ya que estos constituyen una fuente de alimento para toda la sociedad y de trabajo para quienes habitan en las costas, pero también son un elemento fundamental en el ciclo del agua y en la mitigación el cambio climático al ser el sumidero de aproximadamente un tercio del CO₂ antropogénico, y al actual como regulador del clima, al absorber alrededor del 90% del calor que resultan de estas emisiones (MMA, 2020b, p. 62). Es por ello que la protección de la vida marina constituye uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible adoptados por la ONU en la Agenda 2030.

Relacionados con la justicia ambiental y social, otro aspecto de la transición que se debe observar es que las alternativas que se busquen frente a las múltiples crisis tienen por fin alcanzar el equilibrio ecológico y el bienestar físico, mental y social de las personas. Sobre este punto, analizar la desalinización de manera independiente al resto de los factores que han propiciado la escasez de agua puede llevar a que se desatiendan las situaciones que actualmente generan escenarios de injusticia hídrica, como también puede provocar nuevas alteraciones al ciclo hidrológico³⁰ y a los ecosistemas marino

³⁰ Las variaciones que existen en el clima provocan efectos en el ciclo hidrológico ya que existe una retroalimentación donde los cambios del clima generan modificaciones en el vapor del agua, en las nubes, en la temperatura del océano, almacenamiento de calor y transporte, humedad del suelo e interacciones entre el ciclo del carbono y del agua. Estos a su vez inducen nuevamente variaciones en el clima (García, 2007, p. 20).

costeros, ambos en estado de estrés y fragilidad por las consecuencias del cambio climático y por otras actividades antrópicas.

En ese sentido, si bien en el caso de Antofagasta la desalinización de agua de mar permitió a la población contar con una fuente de agua segura para la realización sus actividades diarias, resolviendo con ello el problema de contaminación por minerales que poseía el agua continental, se manifestó la necesidad de sopesar dichos beneficios con los costos que pueden venir aparejados. Para los participantes de la investigación la realización de esta una actividad sin la debida planificación viene a generar desequilibrios en los ecosistemas e inequidades sociales que repercutirán en quienes habitan los territorios, tanto ahora como en el futuro. Un ejemplo de eso serían las posibles afectaciones a otras actividades productivas que han demostrado ser compatibles con la protección de los ecosistemas marino costeros, como el turismo local y la pesca artesanal

Finalmente, la transición debe buscar que a través del diálogo social y el empoderamiento colectivo, se logre la transformación de la sociedad en una resiliente y equitativa. En el caso de estudio surgieron reiteradamente las siguientes preguntas ¿para qué? ¿por qué? y ¿para quién es necesario desalinizar?, aludiendo a la necesidad de realizar un análisis holístico de la desalinización como una alternativa a la escasez hídrica para no provocar nuevos impactos e inequidades.

Esto implica que la planificación de la desalación en Chile requiere involucrar en la toma de decisiones a los múltiples actores involucrados, tanto a quienes recibirán los beneficios de esta actividad como a quienes deberán soportar las cargas, generando espacios de participación informada, donde se decida también la necesidad de realizar la actividad, la escala, la forma en la que se desarrolle y los fines que debe tener.

Teniendo a la vista lo hasta aquí expuesto, a continuación, se realizan una serie de recomendaciones en torno a la desalación del agua de mar, para ser que esta se desarrolle de manera que se protejan los ecosistemas marino costeros y que no genere nuevas inequidades para las personas, de manera que se avance en la transición socioecológica justa.

1. La protección de los ecosistemas marino costeros es clave para enfrentar los desafíos climáticos

- *Se requiere de una planificación nacional y local para la implementación de tecnologías de desalación, de manera que se prevengan y controlen las afectaciones e impactos significativos a los ecosistemas marino costeros.*
- *Incorporación de los impactos climáticos a la planificación de la desalación en Chile*

La desalinización ha sido propuesta como una alternativa de mitigación frente al cambio climático en Chile. Particularmente se ha propuesto como una medida para la limpieza de paneles solares, sector silvoagropecuaria y generación de hidrógeno verde para la electromovilidad y la industria (Vicuña et al., 2022, p. 68).

Sin embargo, la desalación en el escenario actual no puede ser aún considerada una medida de mitigación eficiente a raíz del aumento indirecto de las emisiones atmosféricas que se producirá al requerir grandes cantidades de energía para operar. Esto mientras no se cuente aún con un sistema de generación de energía en base a fuentes limpias. Por otro lado, la desprotección de los océanos y sus ecosistemas afectaría a uno de los más importantes sumideros de carbono.

En Chile, el Informe del Estado del Medio Ambiente (2020) reconoce que los océanos se encuentran sometidos a diversas presiones, tanto antrópicas como las que derivan del

cambio climático. Por su parte, la Contribución Nacional Determinada de Chile del año 2020 (“NDC”) también señala que las consecuencias del cambio climático impactarán severamente los ecosistemas marino costeros y los servicios ecosistémicos que emanan de estos a raíz del aumento en la acidificación, la desoxigenación y el aumento en el nivel del mar (MMA, 2020b).

A estas variaciones que se producen en el clima se suman los obstáculos que ciertas actividades producen en el ciclo hidrológico como el uso a gran escala de agua dulce para la agricultura, industria y consumo humano, las cuales producen estrés hídrico y contaminación. Algunos problemas en torno a la gobernanza de las aguas en Chile dicen relación con la desigualdad distribución de las aguas, contaminación o impactos por usos no consuntivos en hidroeléctricas (Newenko, 2019, p. 2)

Siendo este el contexto, la transición socioecológica justa obliga a observar soluciones a las problemáticas generadas por la crisis climática y ecológica, como lo es la escasez hídrica, que no lleven a desatender otros compromisos adquiridos por el Estado, como lo es en este caso en materia de protección a los océanos y sus ecosistemas. En ese sentido, a partir de lo constatado en la presente investigación, la desalinización si genera riesgos de afectación a los ecosistemas marino costeros a raíz del vertimiento de las aguas de rechazo que produce la desalinización, además del ruido, la succión de organismos y la degradación y fragmentación del hábitat en el borde costero y lecho marino, dependiendo del diseño de los proyectos.

Bajo un enfoque precautorio se requiere de una planificación de la desalinización que tenga en consideración el contexto en el que se desarrollará. De esta manera se busca que dichos riesgos no se traduzcan en afectaciones significativas o daños a los ecosistemas marino costeros, riesgos para la seguridad alimentaria y para la sostenibilidad de otras actividades productivas que han demostrado ser más compatibles con la protección del medio ambiente.

En esta línea, se debe observar también en dicha planificación las políticas públicas de uso del borde costero, de gestión de las aguas, de riesgos de desastre, de ordenamiento territorial y las políticas de energía y minería, puesto que todas interactúan con las causas y efectos del cambio climático. Especial énfasis se requiere poner en estas dos últimas políticas, ya que la desalinización principalmente ha sido potenciada por estos sectores productivos, y se proyecta que su aumento seguirá ligado a estos (Vicuña et al., 2022, p. 56).

2. Incorporar la desalación en el manejo integrado de cuencas y avanzar en la justicia hídrica

- *Elaborar un nuevo sistema normativo, que genere un título concesional para la desalación, que incorpore condiciones y obligaciones específicas para esta actividad.*
- *Considerar en la planificación a nivel de cuencas, así como en los planes de adaptación al cambio climático, los volúmenes de agua considerados para desalación.*
- *Consideración de los usos concretos a los que se destinará el agua desalada.*

Las aguas desalinizadas aún no se consideran estrictamente dentro de la gestión integrada de recursos hídricos, existiendo consenso en que la falta de planificación sobre esta actividad entrega a la iniciativa privada la generación y distribución de aguas desalinizadas, y la decisión de construir o no una planta desaladora (Rojas y Delpiano, 2016, p.118-119)

En primer lugar, y con respecto al régimen que autorice el uso de agua de mar por particulares, se debe construir un nuevo sistema concesional para el agua desalada. Este régimen concesional debe considerar condiciones y obligaciones específicas referidas a los

posibles impactos socioambientales de la desalación, regulando, entre otras variables, los caudales de extracción, los puntos y metodologías de captación, las técnicas de devolución de aguas de rechazo, entre otras condiciones técnicas específicas para su otorgamiento.

En segundo lugar, la desalinización debe ser considerada dentro del manejo integrado de cuencas, puesto que la generación de nuevas fuentes de agua debe ir de la mano con otras medidas que aborden las causas de la escasez hídrica. De lo contrario, contar con una mayor oferta de agua puede provocar que no se aborden realmente las brechas que genera el escenario de escasez hídrica en el país. Además, esta medida debe complementarse con otras alternativas como la reutilización de aguas grises y el establecimiento de prioridades para el uso de las distintas fuentes de agua, de manera planificada.

Siguiendo a Vicuña et al. (2022), la desalinización requiere ser considerada en los Planes de Adaptación de Recursos Hídricos como nuevas fuentes de agua, evaluando caso a caso el objetivo que debiese tener la incorporación de la desalinización (p. 65-66), pero teniendo a la vista los lineamientos de una política estatal al respecto.

Para lo anterior, se hace necesario el desarrollo de un proceso efectivo de planificación nacional de desalación. Esto podrá generar la definición de una cantidad específica de infraestructura de desalación, determinando sus usos y caudales, evitando que quede a disposición de la iniciativa privada, que propicie la competencia entre distintos usos del territorio.

3. Crear, actualizar y fortalecer los Instrumentos de Ordenamiento Territorial para la protección de los ecosistemas marino costeros

- *Incorporación de la desalinización en los procesos de zonificación del borde costero y planificación territorial, con metodologías claras.*
- *Creación de más áreas protegidas en la zona marino costera, que sea incorporada en los procesos de planificación del territorio.*

Si bien existen ciertas problemáticas asociadas a los Instrumentos de Ordenamiento Territorial revisados en los capítulos anteriores, estos son una herramienta necesaria para la planificación del territorio y el correcto establecimiento de usos en la zona costera. Estos usos establecen en definitiva qué actividades se pueden realizar en cada territorio, a través del establecimiento de usos preferentes, compatibles, zonas exclusivas, entre otros.

Se debe promover la generación de zonificaciones en las regiones donde se proyecta un aumento en la actividad de la desalinización, como de otras actividades que generan presiones a los ecosistemas marino costeros. Ello acompañado de la aprobación y ejecución de los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial, todos instrumentos que por mandato deben velar por la protección del medio ambiente.

Además, se requiere del establecimiento de metodologías para incorporar los lineamientos establecidos en las zonificaciones y en los Planes Regionales de Ordenamiento Territorial, así como también las áreas bajo protección oficial, en los Instrumentos de Planificación Territorial que tienen carácter vinculante.

A nivel comunal e intercomunal se requiere de la generación o actualización de los Planes Reguladores Intercomunales, Planes Reguladores Comunales, los Planes de Desarrollo Comunal y planes seccionales en el borde costero. En ellos se deben establecer los diferentes usos teniendo en consideración el potencial crecimiento de la desalación, velando por la protección de los ecosistemas marino costeros.

Estos deben ser complementados a la vez con la creación de más áreas protegidas que sean reconocidas en los distintos Instrumentos de Ordenamiento Territorial. La Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) de Chile reconoce que frente a las amenazas del cambio climático, las áreas marinas protegidas son una de las herramientas costo-efectivas más prácticas para proteger los ecosistemas marino costeros. En esta se señala que estas áreas no solo son importantes en términos de protección de la biodiversidad, sino que también son reconocidas a nivel mundial como una herramienta necesaria para la mitigación y adaptación al cambio climático (MMA, 2020b, p. 63).

Chile cuenta actualmente con diversas figuras de protección de la biodiversidad e instrumentos de ordenamiento territorial que deben ser ejecutados para poder establecer usos en la zona costera que guíen el desarrollo de la desalinización, velando por la protección de la biodiversidad y de los ecosistemas marino costeros.

4. Recomendaciones para la evaluación ambiental de los proyectos de desalación

- *Incorporación de una tipología específica de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental para la desalación.*
- *Realización de una guía, por el Servicio de Evaluación Ambiental, que establezca los factores de impactos y los antecedentes mínimos necesarios para la evaluación de desaladoras.*

La falta de una tipología de ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental se identifica como el principal problema para prevenir los impactos asociados a la actividad de la desalinización, por lo que se requiere incorporar la desalinización como una actividad a evaluar en el artículo 10 de la Ley N°19.300, para poder evaluar debidamente sus efectos.

Los principales factores a evaluar, serían el trazado de los acueductos, la tecnología de captación de agua, los químicos utilizados en el pretratamiento y mantención de las membranas, las características de las aguas de rechazo y la metodología de disposición de estas en el medio ambiente, al ser éstas susceptibles de generar impactos en los ecosistemas marinos, sedimentos y columna de agua. Igualmente, es necesario evaluar la calidad del agua producida según el uso final, el ruido, e indirectamente el consumo energético por las emisiones que se producen al generar energía.

En el marco de la evaluación ambiental, se requiere de un guía que establezca cuáles son los factores generadores de impactos y cuáles son los antecedentes mínimos necesarios para el análisis de susceptibilidad de afectación del medio ambiente, tanto para declaraciones como para estudios de impacto ambiental. Ejemplo de ello es lo que sucede con proyectos de salmonicultura en mar que se encuentren en o próximos a un área bajo protección oficial (SEA, 2023b). Es de especial relevancia evaluar completamente la susceptibilidad de afectación al medio ambiente, y no eludir su análisis por la aplicación de medidas de mitigación y reparación. De esta manera es posible identificar la duración, extensión y magnitud de los impactos, y la suficiencia de las medidas de manejo ambiental necesarias.

A partir de los hallazgos de la investigación, algunos de los antecedentes que se propone requerir por medio de esta guía son:

- i) identificación de las sustancias a utilizar en la etapa de pretratamiento y mantención de las membranas;
- ii) una debida caracterización del efluente, considerando la composición de las aguas de rechazo, su concentración, y el caudal de descarga;

- iii) antecedentes sobre las tecnologías a utilizar en la captación y en la descarga;
- iv) una debida caracterización del medio receptor, considerando sus características hidrodinámicas y biofísicas;
- v) Modelo de la pluma de dispersión del efluente, que considere el tiempo de duración del proyecto y la interacción de los diferentes compuestos presentes en el agua de rechazo, tanto en la columna de agua como en los sedimentos;
- vi) análisis de ruido submarino en la fase de construcción, operación y cierre;
- vii) evaluación de los efectos sinérgicos asociados a la interacción con otros tipos de descarga;
- viii) impactos por fragmentación y pérdida de hábitats terrestres en ecosistemas marino costeros;
- ix) Descripción y análisis de los receptores susceptibles de ser afectados en términos bióticos y abióticos, considerando los efectos acumulativos producto de la exposición prolongada a la descarga del proyecto, especialmente en aquellas especies generadoras de habitat, como macroalgas y plantas marinas, al ser zonas de reproducción y reclutamiento de peces e invertebrados, e;
- x) Incluir proyecciones de cambio climático que consideren variaciones en las corrientes y en la fragilidad de las comunidades biológicas, entre otras cosas.

En esta misma línea, y siguiendo a Rojas y Delpiano (2016), la autorización ambiental debe pronunciarse sobre la modalidad en la que se realicen los vertidos como también “incluir los impactos acumulativos que el proyecto pueda producir, o que puedan producir más proyectos en el futuro en ejecución o en trámite de aprobación” (p.125).

Por último, y recogiendo las recomendaciones realizadas por Vicuña et al. (2022), lo anterior es necesario ya que se complemente con la dictación de normas de calidad secundarias en bahías para evaluar los efectos de la captación y descarga de las aguas de rechazo (Vicuña et al., 2022, p. 120)

ANEXOS

[Anexo I:](#) Descripción actividad

[Anexo II:](#) Revisión bibliográfica de los principales Impactos socioambientales de la desalación

[Anexo III:](#) Identificación desalinizadoras

[Anexo IV:](#) Metodología cualitativa

REFERENCIAS

- Afgan, Naim H.; Darwish, Mohammad; Carvalho, Maria G. (1999). "Sustainability Assessment of Desalination Plants for Water Production". *Desalination* 104 (1-3), pp. 19-32. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(99\)00085-5](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(99)00085-5)
- Amulen (2020). *Pobres de agua. Radiografía del agua rural de Chile: Visualización de un problema oculto*. Disponible en: https://www.fundacionamulen.cl/wp-content/uploads/2020/07/Informe_Amulen.pdf
- Argyrou, M. (2000). *Impact of Desalination Plant on marine macrobenthos in the coastal waters of Dehkelia bay, Cyprus*. Internal Report.
- Avendaño, Miguel y Cantillán, Marcela (2005). "Crecimiento y estructura demográfica de *Argopecten purpuratus* en la Reserva Marina La Rinconada, Antofagasta, Chile". *Cienc. Mar* 31, pp. 491-503. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-38802005000400004&script=sci_abstract
- Barragán, Juan Manuel y De Andrés, María (2015): "Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations". *Ocean & Coastal Management* 114, pp. 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.004>
- Belmar, María Susana (2014). "Instrumentos de planificación del territorio y su aplicación en el borde costero". *Revista de Derecho Administrativo Económico* 18, pp. 199-208. <https://doi.org/10.7764/redae.18.9>
- Bermúdez Soto, (2015). *Fundamentos de derecho ambiental*. 2° edición. Valparaíso, Ediciones Universitarias de Valparaíso. Disponible en: <http://bibliografias.uchile.cl/3867>
- Buceta, José Luis; Gacia, Esperança; Mas, Julio; Romero, Javier; Ruiz, J.; Ruiz-Mateo, A., & Sanchez-Lizaso, José (2003). "Estudio de los efectos de incrementos de salinidad sobre la fanerógama marina *Posidonia oceanica* y su ecosistema, con el fin de prever y minimizar los impactos que pudieran causar los vertidos de aguas de rechazo de plantas desaladoras". *Ingeniería Civil* 132, pp 111-116.
- Burn, Stewart y Gray, Stephen (2015). *Efficient Desalination by Reverse osmosis: A guide to RO practice*. IWA Publishing. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/9781780405049>
- Castilla, Juan Carlos; Lagos, Nelson A.; Guíñez, Ricardo; Largier John (2002). "Embayments and nearshore retention of plankton: The Antofagasta Bay and other examples". En Castilla JC, Largier JL (eds.), *The Oceanography and Ecology of the Nearshore and Bays in Chile*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, pp. 179-203.
- CEAMAR (2016). *Determinación de metodologías para el desarrollo de estudios de línea de base y seguimientos ambientales en ambientes marinos según grado de impacto*. Informe final, Proyecto FIP 2014-27. Disponible en: https://www.subpesca.cl/fipa/613/articulos-89385_informe_final.pdf
- Chesher, Richard H. (1971). "Biological impact of a large-scale desalination plant at Key West, Florida". En *Elsevier oceanography series* 12, pp. 99-153. Elsevier. Disponible en: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.4792>
- Chuang, Yi-Li; Yang, Hsiao-Hui; Lin, Hsing-Juh (2009). "Effects of a thermal discharge from a nuclear power plant on phytoplankton and periphyton in subtropical coastal waters". *Journal of Sea Research* 61(4), pp. 197-205. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2009.01.001>

Cooley, Heather; Gleick, Peter; Wolff, Gary (2006). *Desalination, With a Grain of Salt. A California Perspective*. Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security. Disponible en: <https://pacinst.org/wp-content/uploads/2015/01/desalination-grain-of-salt.pdf>

Cortéz, Alondra (2015). *Evaluación del riesgo tóxico de la puesta en marcha de desaladoras sobre ecosistemas marinos a través del plancton*. Tesis para la obtención de grado en maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México. Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/2011

Curto, Domenico; Franzitta, Vincenzo; Guercio, Andrea (2021). "A review of the water desalination technologies". *Applied Sciences* 11(2), pp. 670. <https://doi.org/10.3390/app11020670>

De la Fuente, J., Ovejero, M. & Queralt, I. (2008). "Gestión medioambiental de salmueras en plantas de desalación marina". *Geo-Temas* 10, pp. 1125-1128. <https://core.ac.uk/download/pdf/36029048.pdf>

Dirección General de Aguas (2016). *Análisis y sistematización información estaciones hidrometeorológicas y calidad de aguas, Región de Antofagasta*. Realizado por AQUANEXUS y CIA LIMITADA. S.I.T. N° 406. Disponible en: https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/33003/DGA_2016_analisis_sistematizacion_informacion_estaciones_hidrometeorologicas_calidad_aguas_region_Antofagasta.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DIRECTEMAR (2021). *Guía para el Modelado de la Hidrodinámica y del Proceso de Mezcla de Descargas Salinas y Térmicas*. Departamento de Protección del Medio Ambiente Acuático, Respuesta a la Contaminación y Cambio Climático. Disponible en: https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20211115/20211115120951/gu_a_de_modelacion_de_plumas_t_rmicas_y_salinas.pdf

Ebenezer, Vinitha; Nancharaiah, Y. Venkata; Venugopalan, V.P. (2012). "Chlorination-induced cellular damage and recovery in marine microalga, *Chlorella salina*". *Chemosphere* 89(9), pp. 1042-1047. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.067>

Einav, Rachel; Harussi, Kobi; Perry, Dan (2003). "The footprint of the desalination processes on the environment". En *Desalination* 152, Issues 1-3, pp. 141-154. Elsevier BV. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)01057-3](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)01057-3)

Escribano, Rubén y Hidalgo, Pamela (2000). "Spatial distribution of copepods in the north of the Humboldt Current region off Chile during coastal upwelling". *Journal of the Marine Biological Association U.K.* 80, pp. 283-290. <https://doi.org/10.1017/S002531549900185X>

Escribano, Rubén y Hidalgo, Pamela (2001). "Circulación inducida por el viento en Bahía de Antofagasta, norte de Chile (23 S)". *Revista de biología marina y oceanografía* 36(1), pp. 43-60. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572001000100005>

Fernández Torquemada, Yolanda; Sánchez Lizaso, José Luis; González Correa, José Miguel (2005). "Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain)". *Desalination* 182, pp. 389-396. doi:10.1016/j.desal.2005.03.023

Fragkou, María Christina & Budds, Jessica (2020). "Desalination and the disarticulation of water resources: Stabilising the neoliberal model in Chile". *Transactions of the Institute of British Geographers*, 45(2), 448-463. <https://doi.org/10.1111/tran.12351>

Fragkou, María Christina y McEvoy, Jaime (2016). “Trust matters: Why augmenting water supplies via desalination may not overcome perceptual water scarcity”. *Desalination*, 397, 1-8. <https://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2016.06.007>.

Fragkou, María Christina; Monsalve Tapia, Tamara; Contreras Alonso, Miguel; Crisóstomo López, Javiera (2021). “Nosotros tomamos agua de mar”. *Planeo* 98, pp. 1- 12. https://revistaplaneo.cl/wp-content/uploads/Art%C3%ADculo_Maria-Fragkou.pdf

García, E., & Ballesteros, E. (2001). “El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en las comunidades bentónicas mediterráneas”. En *Conferencia Internacional: El Plan Hidrológico Nacional y la Gestión Sostenible del Agua. Aspectos Medioambientales, Reutilización y Desalación*. Disponible en: <https://uicnmed.org/bibliotecavirtualposidonia/wp-content/uploads/2014/05/El-impacto-de-las-plantas-desaladoras-en-el-medio-marino.-La-salmuera-en-las-comunidades.pdf>

Gobierno Regional de Antofagasta (2014). *Evaluación Ambiental Estratégica. Macrozonificación del Borde Costero Región de Antofagasta*. Disponible en: https://eae.mma.gob.cl/storage/documents/02_2do_IA_Macro_ZBC_Antofagasta.pdf.pdf

Gobierno Regional de Antofagasta (2020). *Análisis de riesgo ambiental en bahía San Jorge, Antofagasta*. Centro de Ecología aplicada Ltda. BIP 30130908-0. Disponible en: https://mma.gob.cl/antofa-doc/2020_10_GOA003_INF_CO_V3.pdf

Goldenberg, Juan Luis y Celume Byrne, Tatiana (2021). “El libre acceso a las aguas del mar: una aproximación a su calificación jurídica y económica”. *Revista de Derecho Administrativo Económico* 34, pp. 131-156. <https://doi.org/10.7764/redae.34.5>

Guerra, Carlos; Guerra, Christian; Silva Arami (2010). *Guía para la biodiversidad en la península de Mejillones*. Disponible en: https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1382466203PNMorroMoreno.pdf

Heffron, 2022

Hervé, Dominique (2015). *Justicia ambiental y recursos naturales*. Valparaíso: Ediciones Universitarias de Valparaíso.

Instituto Nacional de Estadística (2019). *Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos*. Disponible en: https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/Cd_Pb_Al_Cs_2019.pdf

Infraestructura de Datos Espaciales (2017). *Zonas climáticas de Chile según Köppen-Geiger escala 1:1.500.000*. Disponible en: <https://www.ide.cl/index.php/clima-y-atmosfera/item/1556-zonas-climaticas-de-chile-segun-koepen-geiger-escala-1-1-500-000>

Infraestructura Pública (2019). *Megasequía impulsa desarrollo de desaladoras en Chile: ya hay 24 plantas operando y hay otros 22 proyectos en diferentes etapas de avance*. Disponible en: <https://www.infraestructurapublica.cl/megasequia-impulsa-desarrollo-desaladoras-chile-ya-24-plantas-operando-otros-22-proyectos-diferentes-etapas-avance/>

IPCC (2019): “Resumen para responsables de políticas”, en: *Informe especial sobre los océanos y la criosfera en un clima cambiante del IPCC* [Pörtner, Hans-Otto; Roberts, Debra C.; Masson-Delmotte, Valérie; Panmao, Zhai; Tignor, Melinda; Poloczanska, Elvira; Mintenbeck, Katja; Alegría, Andrés; Nicolai, Maïke; Okem, Andrew; Petzold, Jan; Rama, Bardhyl; Weyer, Nora, M. (eds.)]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/07/SROCC_SPM_es.pdf

Latorre, Manuel (2010). *El boro en la desalación. Experiencia en la Planta de Valdelentisco*. Informe técnico. Murcia, España. Disponible en: <http://www.desaliawater.com/pdf/boro-espana.pdf>

López-Galindo, Cristina, Garrido, M. Carmen, Casanueva, José F. & Nebot, Enrique (2010). "Degradation models and ecotoxicity in marine waters of two antifouling compounds: Sodium hypochlorite and an alkylamine surfactant". En *Science of The Total Environment* 408, Issue 8, pp. 1779-1785. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.029>

Maddah, Hisham, y Chogle, Aman (2017). "Biofouling in reverse osmosis: phenomena, monitoring, controlling and remediation". *Applied Water Science* 7(6), pp. 2637-2651. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0493-1>

Magara, Y. y Iso, S. (2010). "Health, Safety and Environmental Considerations". En: *EOLSS Desalination and water resources. Membrane Processes - Volume III*. pp. 178-189. Disponible en: <http://www.desware.net/sample-chapters/d05/d09-915.pdf>

Martín, Francisco y Sánchez, Juan M. (2002). "Planta desaladora de Antofagasta: un impacto positivo al medio ambiente". I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, pp. 1589-1597. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/positivo.pdf>

Martínez, Carolina; Arenas, Federico; Bergamini, Kay; Urrea, Jorge (2019). *Hacia una ley de costas en Chile: criterios y desafíos en un contexto de cambio climático*. CIGIDEN. https://www.cigiden.cl/wp-content/uploads/2019/10/PP_LeyBordeCostero_digital.pdf

Matin, Asif; Rahman, Faizur; Shafi, H. Z.; Zubair, S. M. (2019). "Scaling of reverse osmosis membranes used in water desalination: Phenomena, impact, and control; future directions". *Desalination* 455, pp. 135-157. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.12.009>

Ministerio del Medio Ambiente (s.f). *Transición SocioEcológica Justa*. Disponible en: <https://mma.gob.cl/contacto/preguntas-frecuentes/transicion-socioecologica-justa/>

Ministerio del Medio Ambiente (2020). *Informe del Estado del Medio Ambiente*. Disponible en: <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/informe-del-estado-del-medio-ambiente-2020/>

Ministerio del Medio Ambiente (2020b). *Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Chile*. Disponible en: https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/08/NDC_2020_Espanol_PDF_web.pdf

Ministerio del Medio Ambiente (2021a). *La Chimba es reconocida oficialmente como el primer humedal urbano de la región de Antofagasta*. Disponible en: <https://mma.gob.cl/aguada-la-chimba-es-reconocida-oficialmente-como-el-primer-humedal-urbano-de-la-region-de-antofagasta/>

Ministerio del Medio Ambiente (2021b). *Sexto Informe Anual del Medio Ambiente*. Disponible en: <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/reporte-del-estado-del-medio-ambiente-2021/>

Ministerio del Medio Ambiente (2022). *Fortalecimiento de la Contribución Determinada a Nivel Nacional*. Disponible en: <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/01/Chile-Fortalecimiento-NDC-nov22.pdf>

Municipalidad de Antofagasta (2001a) *Memoria explicativa Plan Regulador Comunal*.

Municipalidad de Antofagasta (2011) *Memoria explicativa modificación Norte*,

Municipalidad de Antofagasta (2012a). *Modificación Plan Regulador Comunal Sector Norte. Memoria explicativa, parte 1*. Secretaría comunal de planificación, Antofagasta, Chile. Disponible en: <http://200.42.173.246/transparencia/clientes/1/datos/Memoria%20Explicativa%20Parte%201%20-%20Modificacion%20Plan%20Regulador%20Comunal%20Sector%20Norte,%20Antofagasta.pdf>

Municipalidad de Antofagasta (2012b). *Modificación Plan Regulador Comunal Sector Norte. Memoria explicativa, parte 2*. Secretaría comunal de planificación, Antofagasta, Chile. Disponible en: <http://200.42.173.246/transparencia/clientes/1/datos/Memoria%20Explicativa%20Norte%20Parte%20%20-%20Modificacion%20Plan%20Regulador%20Comunal%20Sector%20Norte,%20Antofagasta.pdf>

Municipalidad de Antofagasta (2013). *Plan de desarrollo comunal de Antofagasta 2013 – 2020. Volumen I Diagnóstico*. 313 p. Disponible en: <https://www.municipalidaddeantofagasta.cl/index.php/pladeco?download=1:pladeco-vol-1-diagnostico>

Naciones Unidas (2017). *Los Efectos del Cambio Climático y los Cambios Atmosféricos Conexos en los Océanos. Resumen técnico de la primera evaluación integrada del medio ambiente marino a escala mundial*. Disponible en: https://www.un.org/regularprocess/sites/www.un.org.regularprocess/files/17-05753_s-impacts-of-climate-change.pdf

Naciones Unidas/ONU (s.f) *La biodiversidad y los ecosistemas marinos mantienen la salud del planeta y sostienen el bienestar social*. Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-biodiversidad-y-los-ecosistemas-marinos-mantienen-la-salud-del-planeta-y-sostienen-el-bienestar>

Newenko (2019). *Escasez hídrica en Chile*. Disponible en: <https://www.newenko.org/post/chile-frente-a-la-escasez-h%C3%ADrica-y-el-proceso-constituyente>

Organización Mundial de la Salud (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. Génova. Cuarta Edición. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>

Orostizaga, Estefani (2018). *Diseño preliminar de captaciones costeras de agua de mar-Aplicación en la Costa Central y Norte de Chile*. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

Piñones, A; Castilla, JC; Guiñez, R; Largier, JL (2007). “Temperaturas superficiales en sitios cercanos a la costa en la Bahía de Antofagasta (Chile) y centros de surgencia adyacentes”. *Ciencias Marinas* 33, pp. 37-48.

Plaza Reveco, Rafael (2017). “¿Es necesario legislar sobre el uso del agua de mar y su desalinización? El marco jurídico actual de las aguas desaladas y el análisis de los proyectos de ley en curso”. *Revista De Derecho Ambiental* 7, pp. 60-93. <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2017.46449>

Poornima, E., Rajadurai, M., Rao, T.S., Anupkumar, B., Rajamohan, R., Narasimhan, S.V., Rao, V.N.R., & Venugopalan, V.P. (2005). “Impact of thermal discharge from a tropical coastal power plant on phytoplankton”. *Journal of Thermal Biology* 30(4), pp. 307-316. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2005.01.004>

Precht, Alejandra, Reyes, Sonia y Salamanca, Carola (2016). *El ordenamiento territorial de Chile*. Ediciones UC.

Rangel-Buitrago, Nelson; Bonetti, Jarbas; Martínez, Carolina (2019). “Caracterización del riesgo costero por eventos extremos de oleaje”. En: Martínez, Hidalgo, Henríquez, Arenas, Rangel-Buitrago y Contreras-López (eds.) *La zona costera en Chile: adaptación y planificación para la resiliencia* (Santiago, LOM).

Rivera Albarracín, Lennys (2020). “Potencialidades del concepto de ‘transición justa’ en el escenario de crisis económica y social de América Latina”. *Caravelle. Cahiers du monde hispanique et luso-brésilien* 115, pp. 105-120. <https://doi.org/10.4000/caravelle.8951>

Rojas Calderón, Christian y Delpiano Lira, Cristián (2016). “Algunas consideraciones jurídicas sobre la desalación de agua marina. Caracterizaciones y problemas iniciales”.

Revista de Derecho Administrativo Económico 23, 107-128. <https://doi.org/10.7764/re-dae.23.6>

Ruiz, Juan Manuel. (2005). "Impacto ambiental de las desaladoras sobre las comunidades bentónicas marinas". *Ingeniería y Territorio* 72, pp. 40-47. <https://uicnmed.org/bibliotecavirtualposidonia/wp-content/uploads/2014/04/Impacto-de-las-desaladora-sobre-las-comunidades-bentonicas-marinas.pdf>

Ruso, Yoana Del Pilar; De la Ossa Carretero, José Antonio; Gimenez-Casaldueiro, Francisca; Sanchez-Lizaso, José Luis (2007). "Spatial and temporal changes in infaunal communities inhabiting soft-bottoms affected by brine discharge". *Marine environmental research* 64(4), pp. 492-503. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2007.04.003>

Saavedra, Aldo; Valdés, Hugo; Zúñiga, Carlos (2022). *Manual técnico de desalación y purificación de aguas mediante osmosis inversa*. Boletín INIA N° 462. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación La Cruz, La Cruz, Chile. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68622/NR42912.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Servicio de Evaluación Ambiental (2023a). *Guía Metodológica para la Consideración del Cambio Climático en el SEIA*. Santiago, Chile. Disponible en: https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2023/01/13/MET-Guia-Cambio-Climatico_2023.pdf

Servicio de Evaluación Ambiental (2023b). *Documento técnico. Criterio de evaluación en el SEIA: Evaluación ambiental de proyectos de salmonicultura en mar localizados en o próximo a un área protegida*. Santiago, Chile. Disponible en: https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2023/02.%20Febrero/22/DT-Salmonicultura-en-AP_2023.pdf

Skewes Urtubia, Fernanda (2017). "Autorización ambiental para actividades de desalinización de agua de mar". *Revista De Derecho Ambiental* 7, pp. 35-59. <https://doi.org/10.5354/0719-4633.2017.46448>

Subsecretaría para las Fuerzas Armadas (s.f). *Zonificación Región de Antofagasta*. Disponible en: <https://www.ssffaa.cl/asuntos-maritimos/zonificacion-del-borde-costero/zonificacion-region-de-antofagasta/>

Stauber, Jenny L. (1998). "Toxicity of chlorate to marine microalgae". *Aquatic Toxicology* 41, pp. 213-227. <http://hdl.handle.net/102.100.100/218599?index=1>

United Nations University (2019). *UN Warns of Rising Levels of Toxic Brine as Desalination Plants Meet Growing Water Needs*. Disponible en: <https://unu.edu/media-relations/releases/un-warns-of-rising-levels-of-toxic-brine.html>

US EPA (2011). *Desalination Plant Intakes - Impingement and Entrainment Impacts and Solutions*. Disponible en: <https://www3.epa.gov/region1/npdes/schillerstation/pdfs/AR-026.pdf>

Vicuña, Sebastián; Daniele, Linda; Farías, Laura; González, Humberto; Marquet, Pablo A.; Palma-Behnke, Rodrigo; Stehr, Alejandra; Urquiza, Anahí; Wagemann, Elizabeth; Arenas-Herrera, María J.; Börquez, Rodrigo; Cornejo-Ponce, Lorena; Delgado, Verónica; Etcheberry, Gabriel; Fragkou, María Christina; Fuster, Rodrigo; Gelcich, Stefan; Melo, Oscar; Monsalve, Tamara, ... Winckler, Patricio (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. Disponible en: https://minciencia.gob.cl/uploads/filer_public/35/ac/35ac-8bb3-3d28-4772-8c89-e155db82dbf6/2022_informe_desalinizacion.pdf

Von Medeazza, Gregor Meerganz (2004). "Water desalination as a long-term sustainable solution to alleviate global freshwater scarcity? A North-South approach". *Desalination* 169, pp. 287-301. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.04.001>