

An aerial photograph of a large industrial facility, likely a desalination plant, situated on a coastal area. The facility features numerous large circular tanks, rectangular buildings, and a complex network of pipes and roads. A large ship is docked at a pier extending into the deep blue ocean. The sky is clear and blue.

# HERRAMIENTAS PARA EL DEBATE SOBRE DESALINIZACIÓN: POTENCIALES IMPACTOS Y ESCENARIO EN CHILE

## *Herramientas para el debate sobre desalinización: potenciales impactos y escenario en Chile*

Primera edición, junio 2025.

### **Autores**

*Elizabeth Soto Muñoz, Licenciada en Biología Marina*

*Pablo Madrid Arancibia, Geógrafo*

### **Colaborador**

*Hernán Ramírez Rueda*

### **Revisión y edición**

*Flavia Liberona Céspedes, Joaquín Letelier Vega*

### **Foto Portada**

*Foto original de Google Earth, editada para fines referenciales por IUNTA.*

### **Diseño**

*IUNTA*

### **ISBN**

*Obra liberada bajo licencia Creative Commons*



*Licencia Creative Commons: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual: El artículo puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se reconoce la autoría de los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.*

*“Este documento ha sido elaborado gracias al apoyo de The David & Lucile Packard Foundation.*

### **Fundación Terram**

*General Bustamante 24, 5° piso oficina i Providencia, Santiago de Chile*

[www.terram.cl](http://www.terram.cl)

**HERRAMIENTAS PARA  
EL DEBATE SOBRE  
DESALINIZACIÓN:  
POTENCIALES IMPACTOS  
Y ESCENARIO EN CHILE**

# Contenidos

<b>Acrónimos y siglas</b> .....	5
<b>Glosario</b> .....	6
<b>1. Introducción</b> .....	8
<b>2. Antecedentes de la desalinización de agua de mar en Chile</b> .....	9
<b>3. Nociones básicas sobre la desalinización de agua de mar</b> .....	11
<b>3.1 Desalación a través de procesos de evaporación o destilación</b> .....	12
a. Destilación instantánea multietapa.....	12
b. Destilación multiefecto.....	13
<b>3.2 Desalación a través de procesos de membranas</b> .....	14
a. Osmosis inversa.....	15
b. Electrodialisis.....	15
<b>4. Impactos ambientales asociados a la desalinización de agua de mar</b> .....	17
<b>4.1 Impactos de la captación de agua de mar</b> .....	17
a. Arrastre de organismos.....	17
b. Daño y/o lesión de organismos.....	18
c. Captura de organismos.....	19
<b>4.2 Impactos de los sistemas de descarga</b> .....	20
a. Impactos fisicoquímicos sobre la columna de agua.....	21
b. Impactos de los sistemas de descarga sobre los organismos marinos.....	23
<b>4.3 Impactos derivados del consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero</b> .....	27
<b>5. Contexto de la situación hídrica en el país</b> .....	30
<b>6. Aspectos generales del régimen jurídico de la desalinización de agua de mar</b> .....	33
<b>7. Panorama actual de los proyectos y plantas desalinizadoras en Chile</b> .....	36
<b>8. Conclusiones</b> .....	43
<b>9. Recomendaciones</b> .....	45
<b>10. Referencias</b> .....	46

## Acrónimos y siglas

<b>ACADES:</b>	<i>Asociación Chilena de Desalación y Reúso</i>
<b>DGC:</b>	<i>Dirección General de Concesiones</i>
<b>DIA:</b>	<i>Declaración de Impacto Ambiental</i>
<b>EIA:</b>	<i>Estudio de Impacto Ambiental</i>
<b>ENOS:</b>	<i>El Niño Oscilación Sur</i>
<b>GEI:</b>	<i>Gases de efecto invernadero</i>
<b>MED:</b>	<i>Destilación Multiefecto (del inglés “Multiple Effect Distillation”)</i>
<b>MOP:</b>	<i>Ministerio de Obras Públicas</i>
<b>MSF:</b>	<i>Destilación Instantánea Multietapa (del inglés “Multistage Flash Distillation”)</i>
<b>RCA:</b>	<i>Resolución de Calificación Ambiental</i>
<b>RSEIA:</b>	<i>Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental</i>
<b>SEA:</b>	<i>Servicio de Evaluación Ambiental</i>
<b>SEIA:</b>	<i>Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental</i>
<b>WRI:</b>	<i>Instituto de Recursos Mundiales (del inglés “World Resources Institute”)</i>

# Glosario

**Agua apta para consumo humano o potable:** agua que no representa ningún riesgo significativo para la salud a lo largo de toda una vida de consumo, incluidas las diferentes sensibilidades que pueden darse entre las distintas etapas de la vida (Organización Mundial de la Salud).

**Agua dulce:** agua que se encuentra naturalmente en la superficie de la Tierra: en capas de hielo, campos de hielo, glaciares, icebergs, humedales, lagunas, lagos y ríos, entre otros. Se caracteriza por poseer una baja concentración de sales minerales y sólidos disueltos.

**Agua desalada:** agua de mar o salobre que ha sido tratada para poder obtener agua con baja concentración de sales, pero no necesariamente apta para el consumo humano.

**Agua salada:** agua presente en los océanos de la Tierra. Se caracteriza por tener una alta concentración de sales minerales disueltas, con una salinidad media de unos 35 gramos de sal por kilogramo de agua.

**Agua salobre:** agua con alta concentración de sales minerales disueltas, pero en menor cantidad que el agua de mar.

**Destiladoras:** máquinas que funcionaban con el proceso de destilación de agua. El proceso de la destilación consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasen a fase vapor y, posteriormente, enfriar el vapor hasta recuperar estos componentes en forma líquida mediante un proceso de condensación.

**Diatomeas bentónicas:** algas unicelulares pertenecientes al fitoplancton que habitan asociadas al fondo marino.

**Infauna:** organismos que viven en el sedimento del fondo marino.

**Lodos activados:** se refiere a una mezcla de microorganismos y sólidos en suspensión, utilizados para tratar aguas residuales y depuradoras.

**Nematodos:** grupo de gusanos redondos delgados que pertenece al phylum Nematoda. Con alrededor de 25.000 especies descritas, las que en su mayoría son de vida libre (ambientes acuáticos y terrestres) y en menor proporción de vida parásita.

**Pastos marinos:** son plantas acuáticas que se extienden por cientos de kilómetros frente a las costas y que evolucionaron desde las plantas terrestres durante el período Cretácico, hace unos 120 millones de años atrás, adaptándose a la vida submarina. En Chile, se han encontrado dos especies: *Ruppia filifolia*, la cual se encuentra en sistemas menos salinos y de agua dulce, en la región de Magallanes; y *Zostera nigricaulis*, ubicada en las costas del norte de Chile. Información disponible en: <https://www.maryciencia.org/columnas/pastos-marinos-de-chile-bajo-amenaza/>

**Poliquetos:** grupo de gusanos segmentados que pertenece a la clase Polychaeta dentro del *phylum Annelida*. Son animales acuáticos, casi exclusivamente marinos, y se han descrito alrededor de 12.000 especies.

**Resolución de Calificación Ambiental (RCA):** es un documento administrativo que se obtiene una vez culminado el proceso de evaluación de impacto ambiental, que coordina el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Este documento establece las condiciones, exigencias o medidas que el titular asociado a un proyecto o actividad deberá cumplir durante su ejecución.

**Resacadoras:** forma de denominar a las máquinas de destilación de agua.

**Sistemas de recuperación de energía:** dispositivos que se utilizan regularmente en procesos de desalinización de agua de mar para recuperar la energía de presión del concentrado.

**Tasa de recuperación:** En la desalinización normal de agua de mar (3-4% de salinidad), la regla general es esperar una recuperación de agua del 35-53% del sistema de ósmosis inversa. Esto se debe a la presión hidrostática de la salmuera y a la presión de rotura de las membranas, que impiden que el sistema supere los 75 bares, lo que reduce su recuperación total de agua.

**tCO<sub>2</sub>-eq/año:** toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por año, unidad de medida en toneladas que calcula la emisión de todos los gases de efecto invernadero.

# 1. Introducción

El agua cubre alrededor del 71% de la superficie de la Tierra, donde la mayor parte de este elemento se encuentra en los océanos y es salada (96,5%). Del total restante de agua en el planeta, el 1% se encuentra como agua subterránea salobre y el 2,5% como agua dulce. De esta última, la mayor parte se conserva en glaciares y casquetes polares (1,7%), de difícil acceso<sup>1</sup>, y únicamente el 0,8% del total de agua dulce en el mundo se encuentra disponible para su uso<sup>2</sup>.

Es por esta razón que no es de extrañar que la destilación –o desalación– sea una de las formas más antiguas de la humanidad para obtener agua apta para el consumo humano a partir de agua salada o salobre. La desalación funciona imitando el ciclo hidrológico: cuando se hierve agua salada, el calor hace que el agua se evapore, separándola de las sales minerales. El vapor se enfría, se vuelve a condensar y se recoge como agua dulce<sup>3</sup>.

Según la Organización Mundial de la Salud, la salinidad permitida en el agua apta para consumo humano es de 500 ppm (partes por millón) y puede alcanzar hasta 1.000 ppm, en casos excepcionales. Considerando que la mayor parte del agua disponible en el planeta supera los 10.000 ppm de salinidad, el uso de técnicas de desalinización, como los procesos térmicos y de membrana, ha permitido obtener agua dulce, lo que ha resultado esencial para enfrentar la escasez hídrica en diversas regiones del mundo.

En lo que respecta a nuestro país, desde el año 2010 se ha enfrentado una megasequía, que ha disminuido severamente las precipitaciones entre Coquimbo y La Araucanía. Esta situación ha incrementado la demanda de plantas desalinizadoras para utilizar agua de mar desalada, tanto para el consumo humano como para fines productivos.

Aun cuando la situación hídrica de Chile, ha potenciado la necesidad de más plantas desalinizadoras y el mayor ingreso de proyectos de esta índole en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), las regulaciones no han avanzado a la misma velocidad. Nuestro país carece de una normativa específica para la desalinización de agua de mar. Actualmente, los proyectos de desalación se basan en normas generales como la Ley sobre Concesiones Marítimas y el SEIA, entre otras.

La falta de regulación específica dificulta la minimización de los potenciales impactos ambientales de esta actividad, que pueden derivar de la operación de plantas desalinizadoras afectando a organismos y ecosistemas marinos sensibles, tanto por los sistemas de captación de agua de mar,

<sup>1</sup> Stephens GL, Slingo JM, Rignot E, Reager JT, Hakuba MZ, Durack PJ, Worden J, Rocca R. Earth's water reservoirs in a changing climate. *Proc Math Phys Eng Sci.* 2020 Apr;476(2236):20190458. doi: 10.1098/rspa.2019.0458. Epub 2020 Apr 1. PMID: 32398926; PMCID: PMC7209137.

<sup>2</sup> Kress, N. (2019). *Marine Impacts of Seawater Desalination: Science, Management, and Policy. Chapter 1: Introduction.* Elsevier. Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands. P. 1.

<sup>3</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (2). P. 3.

como por los sistemas de descarga de las plantas. A su vez, estos procesos requieren un consumo significativo de energía eléctrica. Todos estos elementos deben ser considerados en la evaluación de los proyectos, para que la desalinización de agua sirva como una solución importante para abordar la escasez hídrica, pero minimizando sus potenciales impactos.

## 2. Antecedentes de la desalinización de agua de mar en Chile

Los antecedentes sobre desalinización en Chile se remontan al siglo XIX. Según Gabbrielli (2012)<sup>4</sup>, **nuestro país puede denominarse como madre/padre de la desalinización moderna**, pues existen antecedentes de su aplicación en varios sectores: para el desarrollo de la actividad minera en el desierto de Atacama, para el suministro de agua potable en poblados, para los puertos, para el funcionamiento de ferrocarriles a vapor en zonas sin suministro de agua dulce, y para uso militar. A través de diferentes procesos de evaporación: desaladoras, destiladoras o resacadoras<sup>5</sup>.

En este contexto, durante 1857 en el puerto de Cobija (actual región de Antofagasta), que en ese entonces era el principal centro de comercio de agricultura y minería de la zona. El empresario minero José Santos Ossa adquirió la concesión para operar una máquina destiladora de agua de mar, cuya capacidad diaria era de 3.000 galones (13.638 litros)<sup>6,7</sup>.

Durante la expansión de la actividad salitrera de fines del siglo XIX e inicios del XX, se incrementó el número de máquinas desaladoras a base de carbón para potabilizar agua salobre del desierto y altiplano, compitiendo esta tecnología con algunas iniciativas innovadoras como la desarrollada por el ingeniero Charles Wilson, quien **patentó en 1873 la primera desaladora solar del mundo**, la cual había construido en 1872 en la oficina salitrera Las Salinas<sup>8</sup> (ubicada a 113 Km de Antofagasta), con una capacidad de 19.000 litros de agua por día<sup>9</sup> y llegando a 22.500 litros al día en verano<sup>10</sup>.

<sup>4</sup> Gabbrielli, E. (2012). *Latin America: where modern desalination began*. Desalination and Water Reuse, Vol. 22/3, 201, 25–28, Faversham House, West Sussex, UK.

<sup>5</sup> Gabbrielli, E. (2013). *Early history of desalination in Latin America*. IDA Journal of Desalination and Water Reuse, Vol 5 (Nº2), 91–98.

<sup>6</sup> Maino, V., Recabarren, F., Miranda C. & De la Fuente E. (2011). *Historia del agua en el desierto más árido del mundo*. Matte Editores, Santiago de Chile, 2011. 184 pp. Disponible en: [https://issuu.com/matteeditores/docs/aguas\\_antofagasta](https://issuu.com/matteeditores/docs/aguas_antofagasta)

<sup>7</sup> Gabbrielli, E. (2013). Cit. ant. (5).

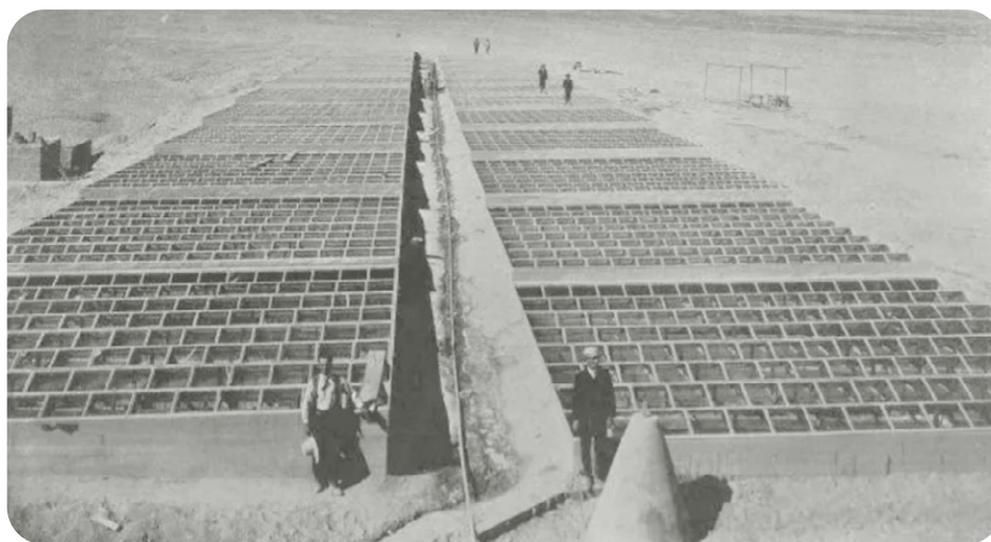
<sup>8</sup> Arellano, N. & A. Roca-Rosell (2013). *La ingeniería británica de desalación de agua mediante el uso de la energía solar en Chile en el siglo XIX*. Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, vol. 15, núm. 2, mayo-agosto de 2013, pp. 163-191. Disponible en: <https://historyofsolartech.com/wp-content/uploads/2016/12/v152163191.pdf>

<sup>9</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (2). P. 5.

<sup>10</sup> Arellano, N. & A. Roca-Rosell (2013). Cit. ant. (8).

Posteriormente, fueron construidas otras dos desaladoras solares, una en la Oficina Domeyko y otra en Sierra Gorda, con una capacidad de 5.000 galones de agua desalada por día (22.500 litros/día). La tecnología solar fue posteriormente desestimada debido a la decadencia de la industria salitrera, por deterioro en el rendimiento de las plantas desaladoras a raíz de la falta de mantenciones y reparaciones, o por la hegemonía de las calderas a combustibles fósiles, tecnología que primó en la desalación de agua por su tamaño y mejoras en eficiencia. Charles Wilson declaró en un diario de la época que la desaparición de la técnica inventada por él, se debió a que esta representaba una amenaza significativa para la industria de la desalación del agua a través de máquinas evaporadoras o condensadoras a carbón, aun cuando la tecnología solar había permitido ahorrar 16 mil toneladas de carbón en un período de once años<sup>11</sup>.

**Figura 1.** Planta desaladora Domeyko, Región de Antofagasta (1907).



**Fuente:** <http://www3.aguasantofagasta.cl/DESALAR/chile.html>

A nivel internacional, en 1943, durante la Segunda Guerra Mundial, se usó la destilación de agua de mar impulsada por energía solar en balsas salvavidas de barcos. Además, se utilizó un proceso químico para producir un kit de desalinización compacto y sellado para transoceánicos que se vieron obligados a bajar al mar durante esta guerra. Posteriormente, en 1953, se utilizó la destilación de agua como un posible suministro hídrico en islas tropicales<sup>12</sup>.

Se considera que, a partir de 1957, se da inicio a la desalinización a escala comercial mediante procesos térmicos, como la **destilación instantánea multietapa**. La desalinización a través de

<sup>11</sup> Arellano, N. & A. Roca-Rosell (2013). Cit. ant. (8).

<sup>12</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (2). P. 5.

procesos de membranas, como la osmosis inversa, tuvo un mayor desarrollo tras la aparición de las membranas Loeb-Sourirajan en 1963, y desde entonces ha ido aumentando el uso de esta tecnología, actualmente el proceso de desalinización mediante membranas lidera la desalinización a nivel mundial<sup>13</sup>.

### 3. Nociones básicas sobre la desalinización de agua de mar

La desalinización o desalación es el proceso a través del cual el agua salobre es separada en dos partes, una que tiene una baja concentración de sales disueltas, denominada **agua dulce**, y otra que tiene una concentración de sales disueltas mucho mayor que la fuente de agua original, la cual es llamada **concentrado de salmuera**<sup>14</sup>. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), la salinidad permitida en agua apta para consumo humano es **500 ppm** y, para casos excepcionales, hasta **1.000 ppm**. La mayor parte del agua disponible en el planeta tiene una salinidad por encima de 10.000 ppm y el agua de mar normalmente tiene una salinidad en el rango de **35.000 a 45.000 ppm** en forma de sales disueltas totales<sup>15</sup>.

La desalinización se clasifica en dos procesos principales basados en la tecnología para producir agua dulce<sup>16</sup>:

- (1) **Procesos térmicos** (evaporación o destilación) en el cual el agua se calienta a temperaturas y presiones, y el vapor se condensa y se recoge como agua pura.
- (2) **Procesos de membrana** en los que membranas semipermeables separan el agua de las sales disueltas.

Los procesos térmicos dominaron la industria hasta el año 2005, cuando el uso de procesos de membrana los superó, debido al rápido desarrollo y mejora en la tecnología de estas últimas, lo que condujo a una mayor eficiencia y a la reducción de costos de operación. **Los procesos de membrana actualmente abarcan alrededor del 65% de la industria mundial de desalinización.** Además, existen los sistemas híbridos que integran diferentes combinaciones de procesos de desalinización térmica y de membrana, así como tecnologías de doble propósito que se utilizan para

<sup>13</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (2). P. 5.

<sup>14</sup> Mahmoud Shatat & Saffa B. Riffat. (2014). *Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources*. International Journal of Low-Carbon Technologies 2014, 9, 1-19. P. 1.

<sup>15</sup> Mahmoud Shatat & Saffa B. Riffat. (2014). Cit. ant. (14). P. 1.

<sup>16</sup> Kress, N. (2019). *Marine Impacts of Seawater Desalination: Science, Management, and Policy, Chapter 2: Desalination Technologies*. Elsevier. Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands. P. 11.

coproducir energía y agua dulce. Nuevas tecnologías como las celdas de desalinización microbiana están actualmente en etapas tempranas de desarrollo<sup>17</sup>.

Independientemente de la tecnología empleada, todos los procesos de desalinización comparten requerimientos comunes<sup>18</sup>:

- (1) se debe realizar un **tratamiento previo del agua** (salada) para reducir organismos marinos adheridos e incrustados, y otras interferencias al proceso;
- (2) llevar a cabo un **manejo del concentrado de salmuera** resultante del proceso de desalación;
- (3) efectuar un **tratamiento posterior del agua** (desalada) o potabilización previa a su distribución; y
- (4) se debe velar por una **optimización en el consumo de energía** y de la producción de agua.

### 3.1 Desalación a través de procesos de evaporación o destilación

La desalación a través de técnicas de evaporación o destilación consiste en **procesos de cambio de fase o estado**, en los cuales el agua de alimentación (o fuente de agua original) se calienta a temperaturas y presiones de operación adecuadas para su evaporación, y el vapor se condensa como agua pura, separándose de sales y otros elementos no volátiles. Los procesos térmicos son impulsados por energía térmica y mecánica, requiriendo más energía que los procesos de membrana<sup>19</sup>.

Las principales técnicas de evaporación o destilación corresponden a: **a)** destilación instantánea multietapa; y **b)** destilación multiefecto.

#### a. Destilación instantánea multietapa

La destilación instantánea multietapa o MSF (del inglés "Multistage Flash Distillation") consiste en evaporar el agua de alimentación (o fuente de agua original) en una serie de cámaras o etapas sucesivas (típicamente 18 a 25), cada una con presiones y temperaturas decrecientes. El agua es precalentada mediante condensadores en cada una de estas etapas. Al pasar a la siguiente etapa y tener ésta una menor presión, se provoca la evaporación del agua, quedando las sales en el fondo del depósito. El vapor generado por evaporación se convierte por condensación en agua con baja concentración salina<sup>20-21</sup>.

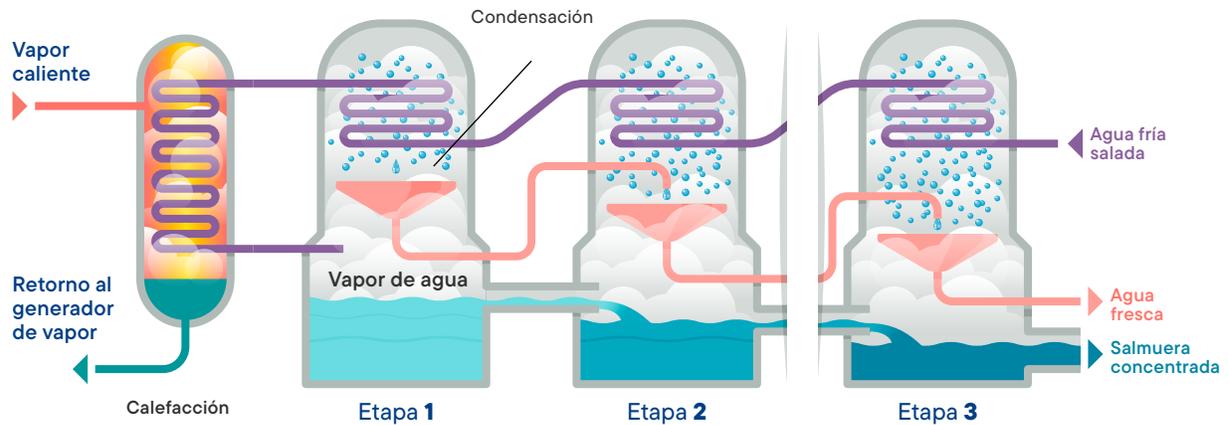
<sup>17</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (16). P. 11.

<sup>18</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (16). P. 11.

<sup>19</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (16). P. 23.

<sup>20</sup> Asociación Española de Desalación y Reutilización (3 febrero 2019) Principales técnicas de desalación: cuáles son, en qué consisten. Disponible en: <https://aedyr.com/principales-tecnicas-desalacion-cuales/>

<sup>21</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (16). P. 24.

**Figura 2.** Esquema de destilación instantánea multietapa


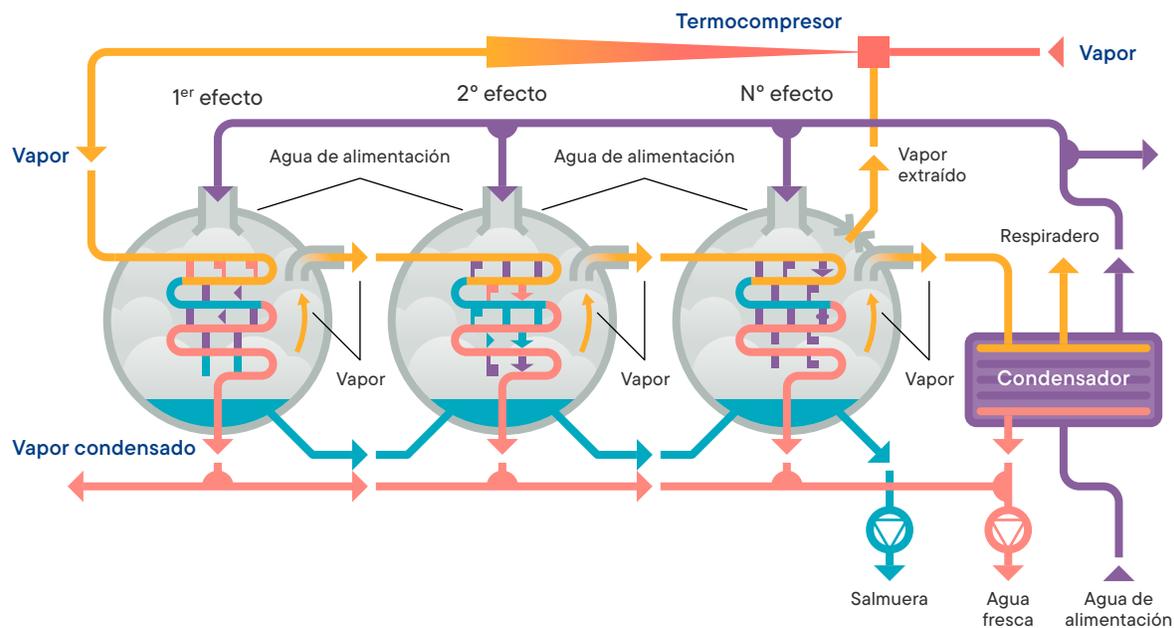
Fuente: <https://wocatpedia.net/wiki/Desalination>

## b. Destilación multiefecto

La destilación multiefecto o MED (del inglés “Multiple Effect Distillation”) funciona con un principio similar a la destilación instantánea multietapa, pues el vapor producido del agua de alimentación en una cámara (o “efecto”) se condensa posteriormente en la siguiente cámara, que existe a una temperatura y presión más bajas, proporcionando calor adicional de vaporización. El proceso se repite sucesivamente en una serie de efectos (típicamente, entre 5 y 20). Como sólo es necesario aplicar calor externo en el primer efecto, esta técnica requiere un aporte energético menor que la MSF <sup>22-23</sup>.

<sup>22</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (16). P. 24.

<sup>23</sup> Asociación Española de Desalación y Reutilización (2019). Cit. ant. (20)

**Figura 3.** Esquema de destilación multiefecto


Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-Multiple-Effect-Distillation-MED-desalination-technique-1\\_fig3\\_346107082](https://www.researchgate.net/figure/Illustration-of-Multiple-Effect-Distillation-MED-desalination-technique-1_fig3_346107082)

Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/A-scheme-for-MED-desalination-11\\_fig4\\_270885247](https://www.researchgate.net/figure/A-scheme-for-MED-desalination-11_fig4_270885247)

### 3.2 Desalación a través de procesos de membranas

La desalación a través de técnicas de membrana consiste en procesos en los cuales **el agua no cambia de fase o estado**, permaneciendo en estado líquido. Funciona a través de membranas semipermeables que permiten la separación del agua y las sales de la fuente de agua original. Estos procesos son impulsados por energía eléctrica o por gradiente de presión osmótica natural<sup>24</sup>.

En general, los procesos de membrana tienen desafíos operativos comunes: maximizar la selectividad, permeabilidad y resistencia mecánica de la membrana; disminuir la polarización de la concentración (o acumulación de solutos en la superficie de la membrana); reducir la bioincrustación (o fijación de organismos vivos) y la adhesión de partículas inertes en la membrana. Como se mencionó anteriormente, la desalación a través de técnicas de membrana requiere de un **pretratamiento de la fuente de agua original**, cuya extensión dependerá de la calidad del agua, el proceso de desalación, el manejo de la salmuera, el tratamiento del agua desalada para potabilizarla (si es el caso) y su distribución<sup>25</sup>.

Las principales técnicas de membrana corresponden a: **a)** osmosis inversa; y **b)** electrodiálisis.

<sup>24</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (16). P. 12.

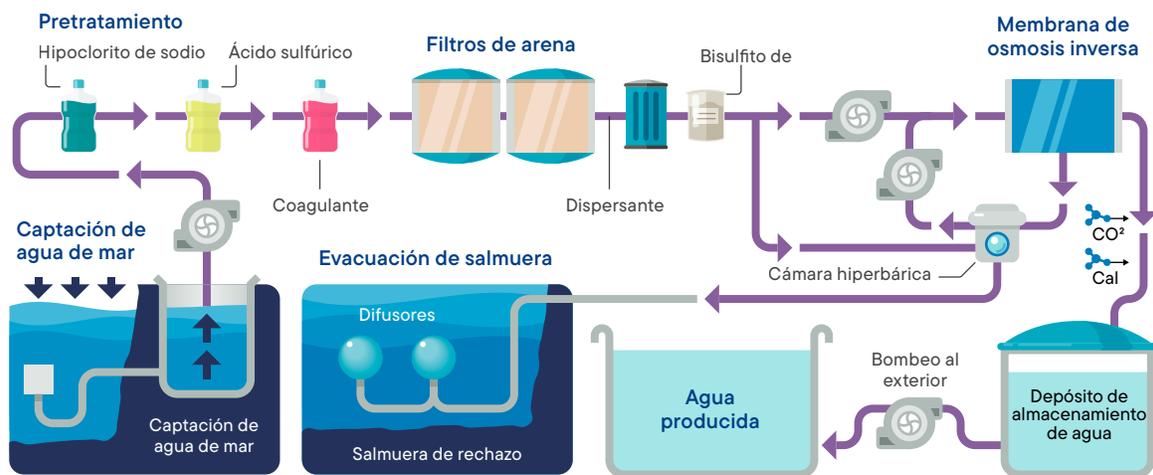
<sup>25</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (16). P. 12.

### a. Osmosis inversa

La desalación por **osmosis inversa** consiste en aplicar una presión mecánica impulsada por energía eléctrica o mecánica a temperatura ambiente, para expulsar las moléculas de agua de la fuente original a través de membranas semipermeables. La presión es necesaria para contrarrestar la gradiente de presión osmótica natural y así lograr filtrar el agua a través de membranas semipermeables que permiten el paso de las moléculas de agua, pero no el de las sales disueltas en ella. Como resultado se obtienen dos tipos de agua, una con menor concentración de sales y otra con mayor concentración de sales (o salmuera) <sup>26-26</sup>.

**Figura 4.** Esquema de desalación por osmosis inversa

Luego de extraer el agua del mar y pasar por una serie de procesos de filtrado y limpieza, se extrae la sal del agua y queda lista para usarse como agua dulce.



**Fuente:** Presentación de la Asociación Latinoamericana de Desalación y Reúso de Agua (ALADYR) a la Comisión Especial Sobre Recursos Hídricos del Senado de Chile (15 de octubre de 2019).

**Fuente:** <https://www.economista.com.mx/estados/Baja-California-sera-lider-en-el-pais-en-plantas-desaladoras-20160711-0113.html>

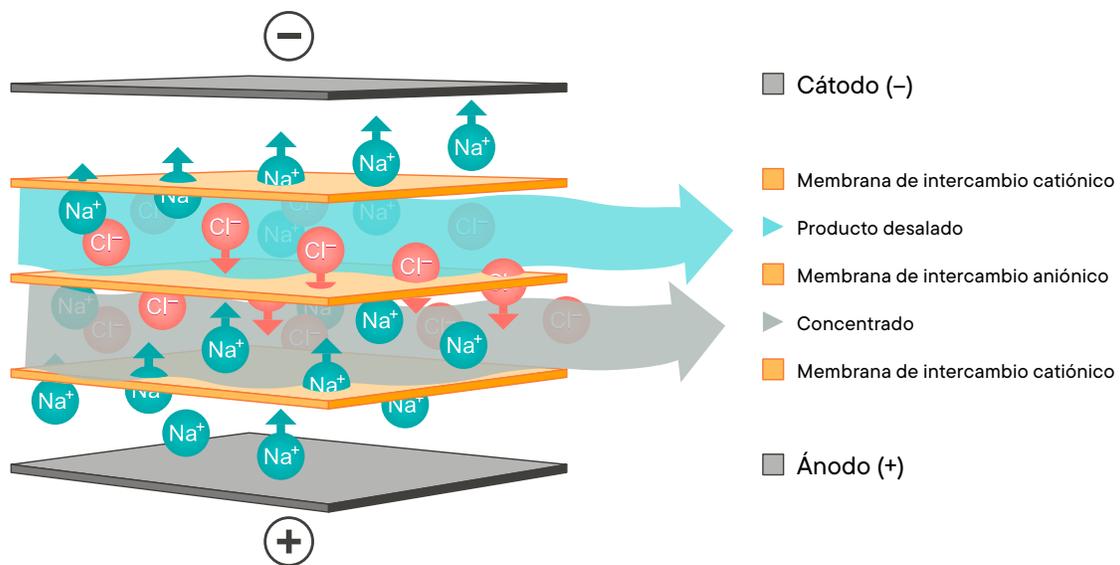
**Fuente:** [https://www.um.es/documents/3456781/4509462/Automatizacion\\_Gyomar.pdf/cb6bec08-4b24-47c9-940f-09e80965fcd9](https://www.um.es/documents/3456781/4509462/Automatizacion_Gyomar.pdf/cb6bec08-4b24-47c9-940f-09e80965fcd9)

### b. Electrodialisis

La desalación por electrodialisis es un proceso impulsado por energía eléctrica que separa los iones de sal del agua. Consiste en el paso de iones, bajo el efecto de una corriente eléctrica continua, a través de una serie de membranas permeables, selectivas, catiónicas y aniónicas, que permite la separación electroquímica de los iones.

En general, el proceso funciona de la siguiente forma: dos electrodos, un cátodo (-) y un ánodo (+), están separados por una pila de membranas de intercambio de aniones y cationes alternos con soluciones entre ellos. Cuando se aplica un gradiente de potencial eléctrico a través de los electrodos, los cationes se mueven hacia el cátodo, pasan a través de las membranas de intercambio de cationes y son retenidos por las membranas de intercambio de aniones. De manera similar, los aniones se mueven hacia el ánodo, pasan a través de las membranas de intercambio de aniones y son retenidos por las membranas de intercambio de cationes. Este proceso se traduce en dos productos: agua desalada y concentrado de salmuera<sup>27-28</sup>.

**Figura 5.** Esquema de desalación por electrodiálisis



**Fuente:** <https://geoinnova.org/blog-territorio/estudios-recientes-revelan-un-exceso-de-salinidad-y-nitratos-en-los-acuiferos-de-la-cuenca-del-guadiana/>

**Fuente:** <https://desalinizaciondelagua.wordpress.com/2014/07/14/electrodialisis/> y <https://glossary.periodni.com/glossary.php?en=electrodialysis>

<sup>27</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (16). P. 20.

<sup>28</sup> Asociación Española de Desalación y Reutilización (2019). Cit. ant. (20)

## 4. Impactos ambientales asociados a la desalinización de agua de mar

### 4.1 Impactos de la captación de agua de mar

Para poder operar, las plantas desalinizadoras requieren de un robusto sistema de captación de agua. Los sistemas de captación se clasifican en **dos categorías generales: sistemas de tomas de agua abiertos**, que consisten en tomas superficiales abiertas y sumergidas, ubicadas sobre la superficie del lecho marino; y **sistemas de tomas subterráneas**, que consisten en pozos y galerías de infiltración, situados bajo el lecho marino o bajo el sedimento de playa<sup>29</sup>.

Las plantas desalinizadoras ubicadas en la zona costera se alimentan con agua del océano. El agua, utilizada para los procesos de desalinización, es hábitat de diversos grupos de especies de plantas y animales, como fitoplancton, invertebrados y peces, tratándose de un ecosistema complejo y altamente sensible a las modificaciones<sup>30</sup>. En este sentido, se han identificado diversos impactos potenciales asociados con los sistemas de captación de agua de mar utilizada para desalinización, siendo los principales el arrastre, daño y/o lesión y captura organismos marinos vivos<sup>31</sup>.

La magnitud del impacto dependerá de las características de la planta (sistema de captación de agua y capacidad o volumen de succión), y de las características locales existentes en el lugar de la toma de agua (hidrografía, población natural, y estado del ambiente). Un sistema de captación de agua para desalinización ubicado en un sitio ya afectado por otros factores estresantes puede tener un efecto sinérgico, maximizando los impactos<sup>32</sup>.

#### a. Arrastre de organismos

El arrastre es el transporte de organismos a través del flujo de agua de mar hacia los sistemas de filtros físicos de las bocas de succión de la planta desaladora, extrayéndolos del ambiente marino. Los organismos arrastrados son lo suficientemente pequeños como para pasar a través de los sistemas de filtros, bajo los 14 mm, con una limitada o nula capacidad de nado, como bacterias, microalgas, esporas de algas, huevos y larvas de invertebrados y peces (zooplancton).

<sup>29</sup> Kress, N. (2019). *Marine Impacts of Seawater Desalination: Science, Management, and Policy. Chapter 4: Theoretical Analysis of the Potential Impacts of Desalination on the Marine Environment*. Elsevier, Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands. P. 53.

<sup>30</sup> York, R. & Foster, M. (2005). *Issues and Environmental Impacts Associated with Once-Through Cooling at California's Coastal Power Plants*. California Energy Commission, Sacramento, California. En: Cooley, H., N. Ajami & M. Heberger (2013). *Key issues in seawater desalination in California: Marine Impacts*. Pacific Institute, Oakland, California. P. 3.

<sup>31</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 57.

<sup>32</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 57.

Se estima que el arrastre es generalmente proporcional al flujo y que puede causar un daño irreversible y/o la muerte de los organismos arrastrados<sup>33-34-35</sup>. En efecto, los organismos arrastrados mueren debido a los cambios de presión y velocidad causados por las bombas de circulación de agua en la planta. Estos organismos también mueren debido al uso de cloro y otros químicos destinados a prevenir la corrosión y la incrustación de organismos<sup>36</sup>.

**Figura 6.** Larva de pulpo – Zooplancton



**Fuente:** <https://www.noaa.gov/media/digital-library-photo/pl23fish3567jpg>

## b. Daño y/o lesión de organismos

El daño y/o lesión se refiere a la fijación de organismos contra los sistemas de filtros físicos de las bocas de succión, por la velocidad y la fuerza del agua de mar que fluye a través de ellas hacia la planta de desalinización. Los organismos afectados son típicamente más grandes que 14 mm., y pueden morir, lesionarse o debilitarse, dependiendo de la especie, edad y etapa de vida.

Los efectos potenciales del daño y/o lesión son la pérdida de abundancia y diversidad, así como cambios en la contribución relativa de los organismos a la comunidad natural. La magnitud del choque de los individuos contra los sistemas de filtro dependerá del caudal y de la capacidad del organismo para alejarse nadando.

<sup>33</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 58.

<sup>34</sup> Cooley, H., Ajami, N. & Heberger, M. (2013). Key Issues in Seawater Desalination in California: Marine Impacts. Pacific Institute, Oakland, California. December 2013. 32 pp. P. 3.

<sup>35</sup> Biblioteca del Congreso Nacional (2017). Impacto Ambiental de Desalinización de Agua de Mar. Asesoría Técnica Parlamentaria. Disponible en: <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/24441/2/Impacto%20Ambiental%20de%20Desalinizaci%C3%B3n%20de%20Agua%20de%20Mar.pdf>

<sup>36</sup> Mackey, E.D., Pozos, N., Wendle, J., Seacord, T., Hunt, H. & Mayer, D.L. (2011). Assessing Seawater Intake Systems for Desalination Plants. Denver, Colorado: Water Research Foundation. En: Cooley, H., N. Ajami & M. Heberger (2013). Key issues in seawater desalination in California: Marine Impacts. Pacific Institute, Oakland, California. P. 3.

Los organismos también pueden verse afectados por la limpieza de los sistemas de filtros con agua a presión. Estos organismos fijados pueden reducir o interferir con el flujo de agua de alimentación y, posteriormente, con el proceso de desalinización<sup>37</sup>.

**Figura 7.** Peces muertos fijados a los sistemas de filtro



**Fuente:** <http://tataandhoward.com/wp-content/uploads/2015/09/desalination-kills-fish.jpg>

### c. Captura de organismos

La captura ocurre cuando los organismos que han ingresado al sistema de admisión de agua de alimentación quedan atrapados y no pueden escapar de regreso a su hábitat natural. Estos organismos abarcan una amplia gama de tamaños, dependiendo de la dimensión de los sistemas de filtros instalados en la entrada de las tomas de agua. Los organismos capturados pueden morir o volverse residentes dentro del sistema de toma de agua, ya sea en el agua de mar o como colonias, causando bioincrustaciones. Las colonias incluyen biopelículas formadas por microorganismos y comunidades sésiles de macroincrustaciones como algas, briozoos, cirripedios y moluscos.

Los organismos capturados se alimentan de otras especies atrapadas o arrastradas, y de los nutrientes y la materia orgánica disponible en el agua de mar. Salvo en el caso de la mortalidad, la captura no reduce la abundancia, pero cambia la ubicación donde habita la especie y puede resultar ventajoso para el desarrollo de especies específicas. En el caso que los organismos capturados formen comunidades sésiles, estas pueden interferir o reducir el flujo de agua de alimentación y deben eliminarse periódicamente con productos antiincrustantes.

Los impactos del arrastre, daño y/o lesión y captura de organismos sobre el ambiente marino aún no se comprenden a cabalidad. La información que se conoce actualmente deriva principalmente de estudios realizados en plantas de energía costeras que tienen sistemas de enfriamiento en base a

<sup>37</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 58.

agua. Investigaciones realizadas en plantas de energía nuclear ubicadas en California, Estados Unidos, han encontrado que el arrastre, daño y/o lesión y captura pueden variar de manera considerable, dependiendo de la ubicación, año y época del año. Por ejemplo, para las dos plantas de energía nuclear más grandes de California, Diablo Canyon y San Onofre, que usan cantidades similares de agua de alimentación, los impactos son sumamente diferentes. Durante un año en promedio, son absorbidos 1.8 billones de larvas de peces y 400 peces en Diablo Canyon, en cambio, San Onofre, absorbió 5.6 billones de larvas de peces y 3.5 millones de peces<sup>38</sup>. Las diferencias entre las dos centrales nucleares se deben a condiciones locales del ambiente, diseño de las plantas, y sistemas de captación y descarga de agua, entre otros factores<sup>39</sup>.

El arrastre, daño y/o lesión y captura de organismos marinos vivos se puede reducir utilizando sistemas de captación de aguas subterráneas, ubicando las plantas desaladoras lejos de zonas con alta productividad biológica, reduciendo la velocidad de los sistemas de toma de agua e instalando barreras biológicas<sup>40</sup>. Es necesario, además, tener en consideración que la distribución y abundancia de peces puede variar anualmente o por estaciones, dinámicas poblacionales que se deben tener en cuenta al momento de planificar la instalación de plantas desaladoras<sup>41</sup>.

## 4.2 Impactos de los sistemas de descarga

Los componentes derivados del proceso de desalación y que son eliminados a través de los sistemas de descarga, incluyen la salmuera (solución hipersalina), productos químicos y metales, cuyos efectos potenciales dependerán de su composición y concentración, así como del patrón de dispersión que generen. Al entrar en contacto con el ambiente marino, estos elementos podrían producir **dos tipos de impactos**: alteraciones en la composición fisicoquímica del agua de mar, y modificación o muerte de organismos marinos presentes en las inmediaciones de los sistemas de descarga de una planta desaladora<sup>42</sup>.

Por una parte, los **impactos fisicoquímicos** sobre el agua de mar son causados por el incremento en la salinidad y temperatura (en el caso de desalación a través de procesos térmicos), incluyendo cambios en la estratificación y circulación de la columna de agua, reducción de la solubilidad del oxígeno y aumento de la salinidad en las aguas intersticiales de los sedimentos. La descarga de productos químicos y metales puede aumentar la turbidez, acumularse y formar complejos tóxicos<sup>43</sup>.

<sup>38</sup> Cooley, H., Ajami, N. & Heberger, M. (2013). Cit. ant. (35). P 3.

<sup>39</sup> McClary, S.C., Mehta, H.L., Fulmer, M.E. & Norin, L.B. (2013). An assessment of California's Operating Nuclear Plants: AB 1632 report. En: Cooley, H., N. Ajami & M. Heberger (2013). Key issues in seawater desalination in California: Marine Impacts. Pacific Institute, Oakland, California. P 3.

<sup>40</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 64.

<sup>41</sup> Cooley, H., Ajami, N. & Heberger, M. (2013). Cit. ant. (35). P 3-5.

<sup>42</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 64.

<sup>43</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 64.

Por otra parte, entre los impactos, derivados de los sistemas de descarga, que pueden llegar a **ser letales para los organismos marinos**, se encuentran la alteración de los niveles de salinidad y temperatura por encima de la tolerancia de los individuos, la toxicidad química, la turbidez del agua, los cambios en el hábitat y la anoxia (ausencia de oxígeno). Además, existen **efectos subletales** los que pueden modificar el metabolismo y el crecimiento de los organismos, así como facilitar cambios en la estructura de la comunidad<sup>44</sup>.

Las posibles **medidas de mitigación** en los sistemas de descarga son la reducción del volumen de salmuera mediante una mayor eficiencia, la eliminación de los productos químicos nocivos, incrementando la dilución de la salmuera, y la ubicación del sistema de desagüe lejos de zonas de alta productividad biológica y/o ecológicamente sensibles<sup>45</sup>.

### a. Impactos fisicoquímicos sobre la columna de agua

Los impactos fisicoquímicos sobre el ambiente marino derivados de los procesos de desalación se pueden clasificar de acuerdo al **agente estresor** que lo produce: salinidad y temperatura, productos químicos y metales, y estructuras.

#### Salinidad y temperatura

La incorporación al ambiente marino de la salmuera derivada del proceso de desalación tiene los siguientes **efectos potenciales**: aumento de la salinidad, o salinidad y temperatura del agua receptora, en particular en la costa y bahías cerradas y semicerradas; cambios en la estratificación de la columna de agua; cambios en corrientes y en la circulación del agua; menor solubilidad del oxígeno en el agua de mar; reducción en las concentraciones de oxígeno debido a la estratificación; y aumento de la salinidad en el agua intersticial de los sedimentos cuando la salmuera se dispersa cerca del fondo<sup>46</sup>.

Con respecto a los impactos observados, estos suelen enfocarse en la intensidad y extensión de la descarga de salmuera dispuesta en el ambiente marino. Diferentes investigadores indican que la influencia de descargas con elevados niveles de salinidad se puede extender por decenas o cientos de metros o, en casos extremos, hasta kilómetros. Esto se debe a diferentes factores como la capacidad de la planta, los sistemas de difusión de la descarga, y la hidrología del lugar<sup>47</sup>. En la mayoría de los casos, sin embargo, se ha observado que la intensidad de la descarga de salmuera parece disminuir rápidamente y no suele superar las 2 ppm por encima de la salinidad presente dentro de 20 metros del emisario<sup>48</sup>.

<sup>44</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 65.

<sup>45</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 65.

<sup>46</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 65.

<sup>47</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: A critical review of published studies. *Water Research* Vol. 44, N° 18, 2010, pp. 5117-5128. P. 5121.

<sup>48</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5119.

En áreas con predominio de corrientes, los modelos sugieren que ellas tienden a llevar la pluma de salmuera más a lo largo de la costa, que mar adentro<sup>49</sup>. Como consecuencia, es probable que la franja costera sea la más susceptible a los efectos nocivos de las salmueras derivadas de los procesos de desalinización<sup>50</sup>. Por otra parte, los aumentos en la salinidad pueden variar alrededor de las zonas de descargas durante los ciclos de mareas, con mayores impactos observados en las mareas entrantes, que actúan concentrando la salmuera alrededor de los emisarios<sup>51</sup>.

Con respecto a la **temperatura**, la Destilación Instantánea Multietapa (MSF) y otras formas de destilación térmica tienden a tener el mayor impacto en la temperatura del agua y pueden liberar salmueras entre 10 a 15 °C más cálidas que el agua de alimentación<sup>52</sup>. La distribución y el alcance de los impactos térmicos están influenciados por la ubicación del emisario de la planta, siendo más probable que las descargas de salmuera a cuerpos de agua con baja circulación tengan más efectos térmicos medibles, que las descargas en ambientes con buena circulación de agua<sup>53</sup>. En cambio, los procesos de ósmosis inversa, que son cada vez más comunes, tienden a producir descargas a temperatura ambiente<sup>54</sup>.

### Productos químicos y metales

Los productos químicos utilizados en las etapas de pretratamiento y postratamiento de agua de alimentación para el proceso de desalación, una vez eliminados, pueden producir aumento de la turbidez del agua de mar y disminución de la penetración de la luz en la columna de agua debido a la descarga de partículas; turbidez y decoloración del agua; aumento de las concentraciones de productos químicos en el ambiente; acumulación de contaminantes en áreas con baja circulación de agua; cambios en el pH; formación de complejos tóxicos al mezclarse la salmuera con agua de mar<sup>55</sup>, entre otros.

Con respecto a los **metales**, su descarga en el mar puede producir, por una parte, un aumento de las concentraciones ambientales de elementos de corrosión como cobre, níquel, hierro, cromo y otros, donde los sedimentos del fondo marino son especialmente propicios a acumular estos elementos; y, por otra, un aumento de partículas en la columna de agua<sup>56</sup>.

Estudios llevados a cabo en el Golfo Pérsico, estiman que se producen **diariamente entre 11 y 20 millones de m<sup>3</sup> de agua y salmuera**, respectivamente<sup>57</sup>. A su vez, en una síntesis de información respecto de la descarga química de 21 plantas en el Mar Rojo, se estimó que 2.708 Kg de cloro, 36

<sup>49</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5119.

<sup>50</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5119.

<sup>51</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5119.

<sup>52</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5120.

<sup>53</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>54</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5120.

<sup>55</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 65.

<sup>56</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 65.

<sup>57</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

Kg de cobre y 9.478 Kg de antiincrustantes se liberan todos los días solo a través de actividades de desalinización<sup>58</sup>. Del mismo modo, en Estados Unidos, a fines de la década de 1960 y principios de la década de 1970, en el monitoreo de la calidad del agua que rodea una planta desalinizadora de Florida se descubrió que se descargaban hasta 45 kg de cobre por cada día de operación<sup>59</sup>. Asimismo, se detectó un aumento de las concentraciones de metales, en particular cobre, en todos los emisarios de MSF<sup>60</sup>. Las aguas y los sedimentos alrededor de las salidas de la planta pueden contener concentraciones elevadas de metales, hidrocarburos y antiincrustantes que se utilizan para limpiar las membranas de ósmosis inversa y reducir la suciedad de las tuberías<sup>61</sup>.

### Tuberías y estructuras permanentes

La introducción de tuberías y estructuras permanentes de las plantas desaladoras y de los sistemas de captación de agua y de descarga de salmuera, sumado a otros elementos en el ambiente marino, pueden producir cambios en las corrientes ambientales locales, cambios en el patrón de transporte y características de los sedimentos, erosión y cambios en la batimetría del fondo, además de cambios en el hábitat<sup>62</sup>.

## b. Impactos de los sistemas de descarga sobre los organismos marinos

Los impactos que afectan a los organismos presentes en el ambiente marino en cercanías de los emisarios de las plantas desaladoras se derivan directamente de la toxicidad o los efectos nocivos de los elementos presentes en la salmuera, e indirectamente de los cambios fisicoquímicos producidos en la columna de agua. Estos impactos pueden afectar a todos los niveles del ecosistema marino: desde las bacterias y las microalgas, hasta los peces y sus depredadores, en el agua de mar y los sedimentos, y desde la costa hasta mar adentro. En general, los impactos de las descargas sobre los organismos marinos pueden ser letales o subletales; cambiar la abundancia y la diversidad; cambiar la contribución relativa de los organismos a la comunidad natural; alterar el comportamiento y el ciclo de vida; y cambiar la estructura, las funciones y los servicios ecosistémicos del medio afectado<sup>63</sup>.

Los efectos de los sistemas de descarga sobre los organismos marinos pueden ser causados por los diferentes componentes en la salmuera. A continuación, se describen efectos sobre los organismos marinos divididos en letales y subletales<sup>64</sup>.

<sup>58</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>59</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>60</sup> Kress, N. (2019). Marine Impacts of Seawater Desalination: Science, Management, and Policy. Chapter 6: Actual Impacts of Seawater Desalination on the Marine Environment Reported Since 2001. Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands. P. 128.

<sup>61</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>62</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 65.

<sup>63</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 66.

<sup>64</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 66.

**Tabla 1:** Potenciales efectos letales y subletales de la descarga de salmuera sobre los organismos marinos

### EFFECTOS LETALES

Salinidad y/o temperatura más altas de lo que el organismo puede tolerar que provocan un choque halino o térmico.

Biocidas no neutralizados y complejos tóxicos generados por la reacción de los componentes de la salmuera con el agua de mar.

Toxicidad de un componente específico de la salmuera o de una mezcla de compuestos.

Los organismos sésiles quedan expuestos a hipoxia y anoxia.

Los organismos fotosintéticos son impactados negativamente por la turbidez del agua y disminución de la penetración de la luz.

Cambios en la composición de sedimentos y en el hábitat de los organismos bentónicos.

### EFFECTOS SUBLETALES

Aumento de la salinidad y la temperatura que pueden: modificar las tasas fotosintéticas en organismos fotoautótrofos; alterar el metabolismo, la fisiología y el crecimiento de los organismos; proporcionar una ventaja de desarrollo a especies tolerantes a la temperatura y salinidad.

Cambios en la estratificación de la columna de agua y las corrientes que pueden alterar el transporte de especies planctónicas en las cercanías del área de descarga.

La hipoxia y anoxia pueden ahuyentar a los organismos con capacidad para nadar o disuadirlos de llegar a un área afectada.

Cambios en las características y el transporte de los sedimentos, y las estructuras permanentes que afectan el hábitat pueden cambiar la estructura de la comunidad bentónica y sésil.

La pérdida o los cambios en el hábitat pueden afectar el desove, las áreas de alimentación y la migración, cambiando la comunidad biológica.

Los productos químicos liberados a través de la salmuera pueden tener un impacto crónico en los organismos, afectando su metabolismo.

Los nutrientes y la descarga de hierro pueden desencadenar floraciones de fitoplancton.

**Fuente:** Elaboración propia con base en Kress (2019). Cit. ant. (30). P. 66.

En cuanto a los efectos observados, diversos autores han demostrado que la exposición a las descargas de salmuera provoca impactos ecológicos detectables en los hábitats de pastos marinos y en las comunidades de fitoplancton, invertebrados y peces en las áreas que rodean a los emisarios<sup>65</sup>.

<sup>65</sup> Kress, N. (2019). Cit. ant. (30). P. 66-67.

**Figura 8.** Tortuga verde *Chelonia mydas* pastando



Fuente: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d7/Green\\_Sea\\_Turtle\\_grazing\\_seagrass.jpg/1200px-Green\\_Sea\\_Turtle\\_grazing\\_seagrass.jpg?20130818211608](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d7/Green_Sea_Turtle_grazing_seagrass.jpg/1200px-Green_Sea_Turtle_grazing_seagrass.jpg?20130818211608)

Fernández-Torquemada *et al.* observaron una reducción en las densidades de equinodermos en las praderas de pasto marino *Posidonia oceanica* adyacentes a la descarga de salmuera de un emisario de la planta desaladora de Alicante en España<sup>66</sup>. Otros autores, por su parte, encontraron aumentos significativos en la necrosis de las hojas y disminución del almacenamiento de carbohidratos en los tejidos de pasto marino, los cuales fueron atribuidos tanto a la exposición a la salmuera como a los aumentos en la disponibilidad de nutrientes<sup>67</sup>.

Ruso *et al.* (2007 y 2008, citado por Roberts *et al.*, 2010) han constatado que las descargas de salmuera sobre los hábitats de fondos blandos o arenosos pueden alterar la estructura y la diversidad de las comunidades de infauna. Asimismo, se observó un aumento en la predominancia de nematodos en las inmediaciones de las descargas de salmuera, y una reducción de la diversidad y abundancia de poliquetos hasta 400 metros de distancia de un sistema de descarga<sup>68, 69</sup>.

Los efectos de la descarga de salmuera sobre ecosistemas marinos, también afecta a las comunidades de diatomeas bentónicas que se pueden ver reducidas en diversidad y abundancia,

<sup>66</sup> Fernández-Torquemada, Y., Sánchez-Lizaso, J. & González-Correa, J. (2005). Preliminary results of the monitoring of the brine discharge produced by the SWRO desalination plant of Alicante (SE Spain). *Desalination* 182, 395-402.

<sup>67</sup> Gacia, E., Invers, O., Manzanera, M., Ballesteros, E. & Romero, J. (2007). Impact of the brine from a desalination plant on a shallow seagrass (*Posidonia oceanica*) meadow. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 72, 579-590. En: Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>68</sup> Ruso, Y., Carretero, J., Casalduero, F. & Lizaso, J. (2007). Spatial and temporal changes in infaunal communities inhabiting softbottoms affected by brine discharge. *Marine Environmental Research* 64, 492-503. En: Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>69</sup> Ruso, Y., Carretero, J., Casalduero, F. & Lizaso, J. (2008). Effects of a brine discharge over soft bottom Polychaeta assemblage. *Environmental Pollution* 156 (2), 240-250. En: Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

y con concentraciones de clorofila-a más bajas que en áreas no impactadas<sup>70</sup>. Los impactos sobre comunidades planctónicas pueden minimizarse en áreas de fuerte flujo y mezcla de aguas, limitándose el impacto al lugar de descarga de salmuera en zonas con estas características<sup>71</sup>. Cuando **las descargas se liberan en bahías con baja circulación de agua, la salmuera puede mantenerse en el ambiente por períodos extensos**, lo que lleva a la muerte del plancton como resultado de varios factores, incluido el estrés por salinidad, niveles reducidos de oxígeno disuelto, la producción de sulfuro de hidrógeno o reducciones en el pH<sup>72</sup>. La exposición prolongada a tales condiciones perjudica potencialmente la colonización y supervivencia de las comunidades bentónicas<sup>73</sup>.

En Estados Unidos, en una planta desalinizadora de Florida, se encontró una variedad de efectos biológicos significativos en las aguas receptoras: reducciones en la abundancia de organismos presentes en el plancton y de invertebrados sésiles (incluidos gusanos anélidos, cirrípedos, briozoos, poliquetos, ascidias, ostras y equinodermos) se atribuyeron a la descarga de salmueras de desalinización<sup>74</sup> con concentraciones excesivas de cobre<sup>75</sup>.

Independientemente de la fuente y técnica de desalación utilizada, la descarga de salmuera con alto contenido de metales tiene el potencial para dañar las comunidades biológicas y los estudios de biomonitorio han encontrado acumulación de metales en macroalgas, mitílidos y sedimentos bentónicos<sup>76</sup>. Las concentraciones de cobre en las aguas receptoras analizadas eran de **5 a 10 veces más altas** que las concentraciones ambientales y, a menudo, estaban presentes en niveles que excedían los umbrales de toxicidad para las especies nativas<sup>77</sup>.

<sup>70</sup> Crockett, A. (1997). Water and wastewater quality monitoring, McMurdo Station, Antarctica. *Environmental Monitoring and Assessment* 47, 39-57. En: Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>71</sup> Azis, P., Al-Tisan, I., Daili, M., Green, T., Dalvi, A. & Javeed, M. (2003). Chlorophyll and plankton of the Gulf coastal waters of Saudi Arabia bordering a desalination plant. *Desalination* 154, 291-302. En: Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>72</sup> Cintrón, G., Maddux, W. & Burkholder, P. (1970). Some consequences of brine pollution in the Bahía Fosforescente, Puerto Rico. *Limnology and Oceanography* 15 (2), 246-249. Winters, H., Isquith, I., Bakish, R., 1979. Influence of desalination effluents on marine ecosystems. *Desalination* 30, 403-410. En: Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>73</sup> Cintrón, G., Maddux, W. & Burkholder, P. (1970). Some consequences of brine pollution in the Bahía Fosforescente, Puerto Rico. *Limnology and Oceanography* 15 (2), 246-249. Winters, H., Isquith, I., Bakish, R., 1979. Influence of desalination effluents on marine ecosystems. *Desalination* 30, 403-410. En: Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>74</sup> Chesher, R., 1971. Biological impact of a large-scale desalination plant at Key West, Florida. In: Elsevier Oceanography Series, vol. 2, pp. 99-164. En: Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>75</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5122.

<sup>76</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

<sup>77</sup> Roberts, D. A., Johnston, E. L. & Knott, N. A. (2010). Cit. ant. (48). P. 5121.

**Figura 9.** Esquema de los impactos de la desalinización


**Fuente:** Le Quesne, W.J.F. et al. (2021). Is the development of desalination compatible with sustainable development of the Arabian Gulf? *Marine Pollution Bulletin*, Volume 173, Part A. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X21009747#f0035>

### 4.3 Impactos derivados del consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero

La desalinización de agua es considerada una de las alternativas para reducir la escasez hídrica, pero se debe considerar que, para la operación de las plantas desaladoras se requiere energía eléctrica. El consumo de electricidad en los procesos de desalación, debe ser un factor a contemplar en la evaluación de soluciones para el problema de estrés hídrico, si se quieren implementar alternativas sostenibles a largo plazo, pues uno de los principales impactos ambientales ocasionados por estos sistemas industriales son las **emisiones de gases de efecto invernadero** (GEI)<sup>78</sup>. Los GEI son emitidos tanto directa como indirectamente por el funcionamiento de las plantas desaladoras<sup>79</sup>.

<sup>78</sup> Sabeen, A.H., Noor, Z.Z., Ngadi, N., Almuraisi, S., Raheem, A.B. (2018). Quantification of environmental impacts of domestic wastewater treatment using life cycle assessment: a review. *J. Clean. Prod.* 190, 221–233. Miller, S., Shemer, H., Semiat, R. (2015). Energy and environmental issues in desalination. *Desalination* 366, 2–8. Gupta, D., Singh, S.K. (2015). Energy use and greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants. *Int.J. Environ. Eng.* 7 (1), 1–10. En: Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). Impact of seawater desalination and wastewater treatment on water stress levels and greenhouse gas emissions: The case of Chile. *Science of The Total Environment*, Volume 818, 20 April 2022, Article 151853. P. 2.

<sup>79</sup> Nguyen et al., 2021; Mannina et al., 2016; Cornejo et al., 2014. En: Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). Impact of seawater desalination and wastewater treatment on water stress levels and greenhouse gas emissions: The case of Chile. *Science of The Total Environment*, Volume 818, 20 April 2022, Article 151853. P. 2.

La desalación mediante **ósmosis inversa implica un proceso de alto consumo eléctrico**, por consiguiente, puede generar grandes cantidades de emisiones de GEI indirectamente cuando la producción de energía es basada en la combustión de combustibles fósiles<sup>80</sup>. El sistema de ósmosis inversa y el pretratamiento son los principales consumidores de electricidad en las plantas desaladoras de ósmosis inversa, representando el 71% y el 11% del consumo total de energía, respectivamente<sup>81</sup>.

En una publicación, cuyo caso de estudio se centra en Chile, Herrera-León *et al.* (2022) estimaron que la cantidad total de GEI emitidos a través de la operación de procesos de ósmosis inversa y lodos activados osciló entre 164.687 y 277.120 tCO<sub>2</sub>-eq/año en 2015, previéndose que esto aumente entre 323.879 a 710.721 tCO<sub>2</sub>-eq/año para el 2030, debido a los incrementos en las capacidades de agua desalada y agua reciclada, por lo que estos procesos implicarán un mayor consumo eléctrico<sup>82</sup>.

Asimismo, en dicha publicación se estimó que, para el 2030, las ciudades en regiones chilenas generarán nuevas emisiones de GEI debido a la operación de las plantas desaladoras y de tratamiento de aguas residuales en **Iquique, Antofagasta y Copiapó**<sup>83</sup>. Esta situación muestra cómo el uso creciente de fuentes de agua no convencionales puede resolver problemas locales de escasez hídrica, pero, al mismo tiempo, podría contribuir a empeorar los problemas globales al aumentar las emisiones directas e indirectas de GEI, debido a la operación de plantas de desalinización y tratamiento de aguas residuales<sup>84</sup>.

En cuanto a la variación de las emisiones directas de GEI de las distintas plantas desaladoras, estas dependerán de las características del agua de alimentación, la capacidad y el rendimiento de la planta<sup>85</sup>. En esta línea, para las plantas de ósmosis inversa, los sistemas de pretratamiento de agua y de ósmosis inversa son los procesos que más consumen energía y que, por lo tanto, generan emisiones indirectas de GEI<sup>86</sup>.

Según Herrera-León *et al.*, en literatura científica se indica que el proceso de ósmosis inversa requiere alrededor de **2,5 a 4 kWh/m<sup>3</sup> de agua desalada producida** y el consumo de electricidad dependerá de la salinidad de la fuente de agua de alimentación, la tasa de recuperación, la eficiencia

<sup>80</sup> Shemer and Semiat, 2017; Gude, 2016; Liu *et al.*, 2015; Heihsel *et al.*, 2019. En: Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). Impact of seawater desalination and wastewater treatment on water stress levels and greenhouse gas emissions: The case of Chile. *Science of The Total Environment*, Volume 818, 20 April 2022, Article 151853. P. 2.

<sup>81</sup> Voutchkov, N., 2018. Energy use for membrane seawater desalination—current status and trends. *Desalination* 431, 2–14. En: Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). Impact of seawater desalination and wastewater treatment on water stress levels and greenhouse gas emissions: The case of Chile. *Science of The Total Environment*, Volume 818, 20 April 2022, Article 151853. P. 2.

<sup>82</sup> Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). Impact of seawater desalination and wastewater treatment on water stress levels and greenhouse gas emissions: The case of Chile. *Science of The Total Environment*, Volume 818, 20 April 2022, Article 151853. P. 9.

<sup>83</sup> Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). *Cit. ant.* (88) P. 9.

<sup>84</sup> Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). *Cit. ant.* (88) P. 9.

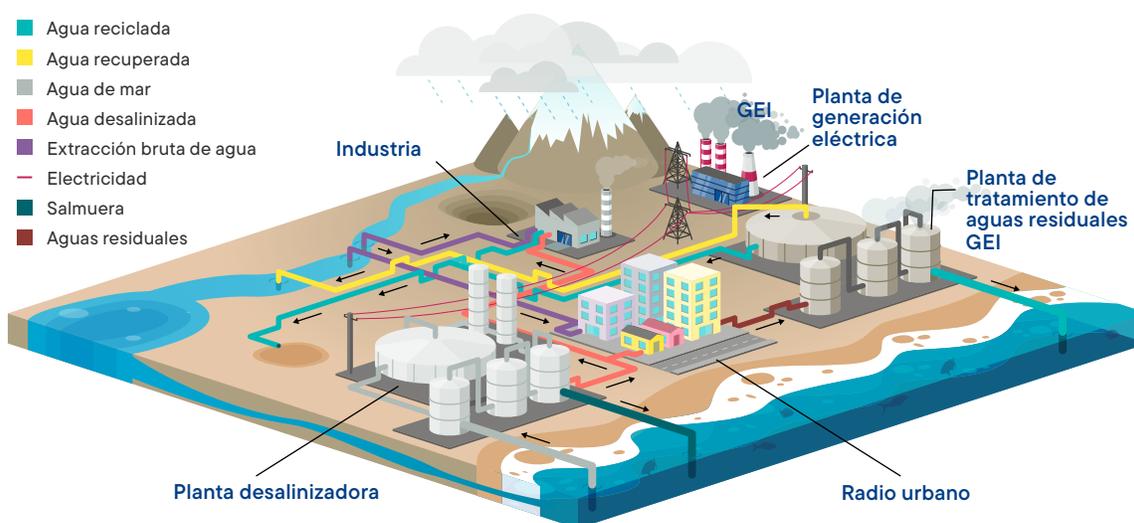
<sup>85</sup> Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). *Cit. ant.* (88) P. 9.

<sup>86</sup> Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). *Cit. ant.* (88) P. 9.

de las bombas, el tamaño de la planta y la eficiencia de los sistemas de recuperación de energía<sup>87</sup>. Por ello, para reducir el consumo energético en el proceso de ósmosis inversa, se recomienda la implementación de bombas de alta presión eficientes, mejorar esta tecnología mediante el desarrollo de membranas altamente permeables y que reduzcan el bioincrustamiento, así como la implementación de dispositivos de recuperación de energía<sup>88</sup>.

Además, se ha estimado necesario continuar con los esfuerzos enfocados en aumentar el uso de energías renovables para satisfacer total o parcialmente la demanda energética de las plantas desaladoras y potabilizadoras con el fin de reducir la emisión indirecta de GEI<sup>89</sup>; lo anterior, aun cuando las estimaciones de la contribución de GEI derivados de la operación de plantas de desalinización y tratamiento de aguas residuales contribuirá solo entre 0,34% y 0,75% del total de GEI emitidos en el país para 2030<sup>90</sup>.

**Figura 10.** Impactos ambientales de la desalinización.



**Fuente:** Herrera-León et al. (2022). Impact of seawater desalination and wastewater treatment on water stress levels and greenhouse gas emissions: The case of Chile. *Science of The Total Environment* 818. 11 pp. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721069291>

<sup>87</sup> Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). Cit. ant. (88) P. 9.

<sup>88</sup> Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). Cit. ant. (88) P. 9.

<sup>89</sup> Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). Cit. ant. (88) P. 9.

<sup>90</sup> Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski. (2022). Cit. ant. (88) P. 9.

## 5. Contexto de la situación hídrica en el país

La mega sequía que ha afectado al país desde el año 2010 y que se prolongó por lo menos hasta comienzos de 2023, produjo una disminución permanente de las precipitaciones entre las regiones de Coquimbo y la Araucanía<sup>91</sup>, esto ha generado una enorme presión respecto a la instalación de plantas desalinizadoras y al uso de agua de mar desalada, tanto para el consumo humano como para fines productivos, con la finalidad de compensar dicha escasez.

La presencia del fenómeno El Niño Oscilación Sur (ENOS), durante los años 2023 y 2024 trajo asociadas precipitaciones intensas, y la sequía prolongada se vio parcialmente detenida<sup>92</sup>. Sin embargo, en la región de Coquimbo la situación crítica de escasez hídrica se ha mantenido, llegando a su nivel más alarmante a comienzos de 2024, donde siete de sus embalses contaban con menos del 20% de su capacidad. Una situación especialmente grave se presentó en el embalse Cogotí, ubicado en la comuna de Combarbalá, que quedó sin agua<sup>93</sup>. Esta situación se modificó con las lluvias invernales, quedando a un 20% de su capacidad en agosto de 2024<sup>94</sup>, y a un 30% en diciembre del mismo año (ver Figura 11).

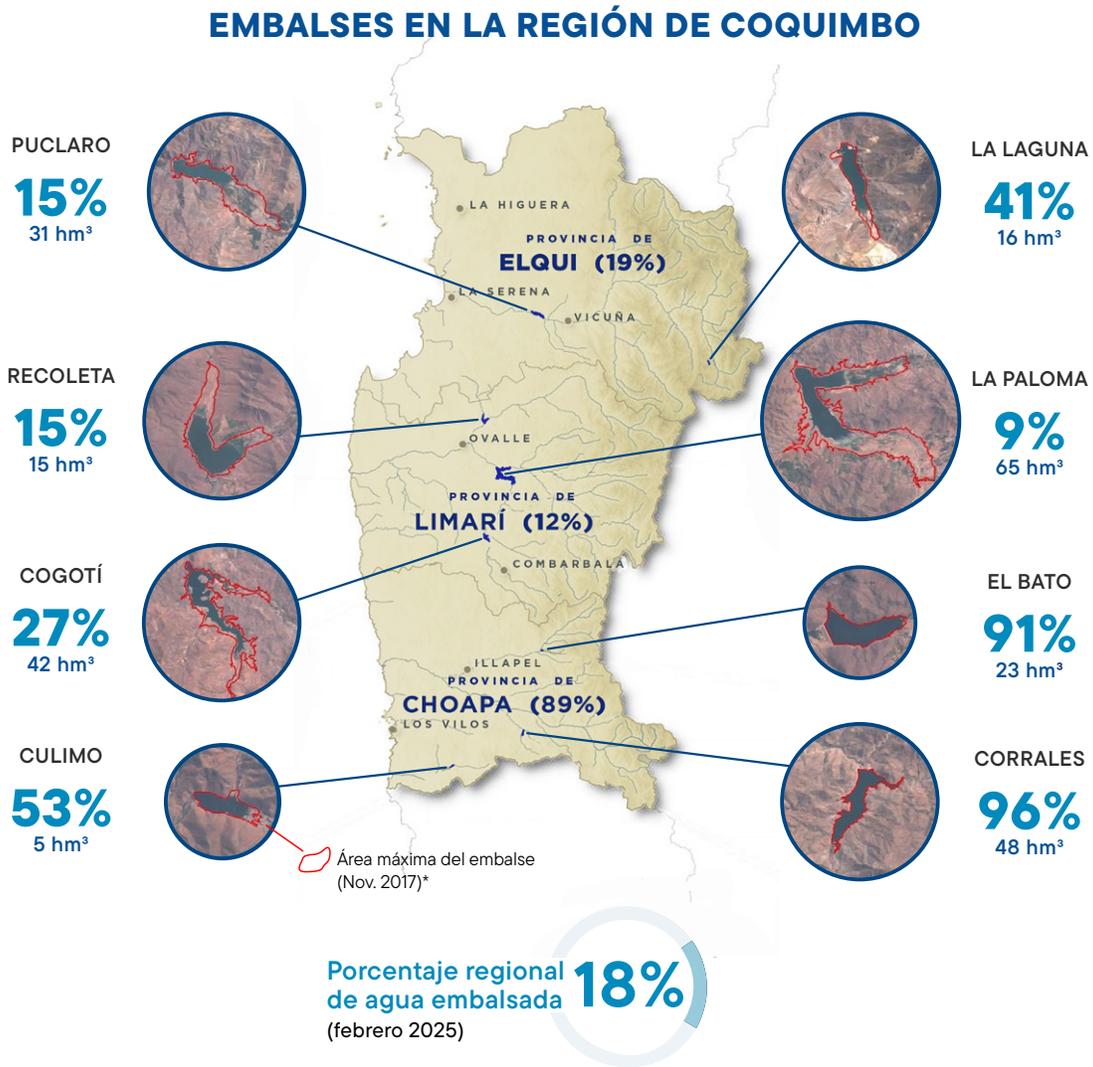
<sup>91</sup> CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR2). (2015). La megasequía 2010-2019: Una lección para el futuro. Informe a la Nación. Noviembre 2015. Disponible en: <https://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2015/11/informe-megasequia-cr21.pdf>

<sup>92</sup> World Meteorological Organization. (2024). State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2023. WMO-No. 1351. 42 p. Disponible en: <https://library.wmo.int/idurl/4/68891>

<sup>93</sup> DiarioUchile. (2024). Sequía en la Región de Coquimbo: INDH detecta vulneraciones a los DDHH y prepara informe sobre situación hídrica. Publicado el 13 de octubre de 2024. Disponible en: <https://radio.uchile.cl/2024/10/13/sequia-en-la-region-de-coquimbo-indh-detecta-vulneraciones-a-los-ddhh-y-prepara-informe-sobre-situacion-hidrica/>

<sup>94</sup> El Combarbalino. (2024). Según informe DGA embalse Cogotí de Combarbalá aumentó a 20% acumulación de agua: Estaba en 0%. Publicado el 19 de agosto de 2024. Disponible en: <https://www.elcombarbalino.cl/2024/08/19/segun-informe-dga-embalse-cogoti-de-combarbala-aumento-a-20-acumulacion-de-agua-estaba-en-0/>

Figura 11. Infografía del estado de los embalses de la región de Coquimbo a febrero de 2025



**Fuente:** Infografía elaborada por CEAZAMet a partir de imágenes satelitales Sentinel-2 (Copernicus, EU) de febrero de 2025 y datos hidrométricos de la Dirección General de Aguas (Informe Semanal 24 de febrero 2025).  
**Autora:** Pamela Maldonado (CEAZA). Disponible en: [https://boletin.ceazamet.cl/index.php?pag=diag\\_caudales](https://boletin.ceazamet.cl/index.php?pag=diag_caudales)

Para octubre de 2024, El Niño se encontraba en una condición neutral<sup>95</sup>, es decir, la temperatura superficial del océano Pacífico tropical se encontraba normal o en el promedio<sup>96</sup>. Y desde diciembre de 2024 se encuentran presentes las condiciones de La Niña, estimándose con un 59% de probabilidades, que se prolongue hasta abril de 2025<sup>97</sup>.

<sup>95</sup> NOAA (2024) ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Publicado el 21 de octubre de 2024. Disponible en: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)

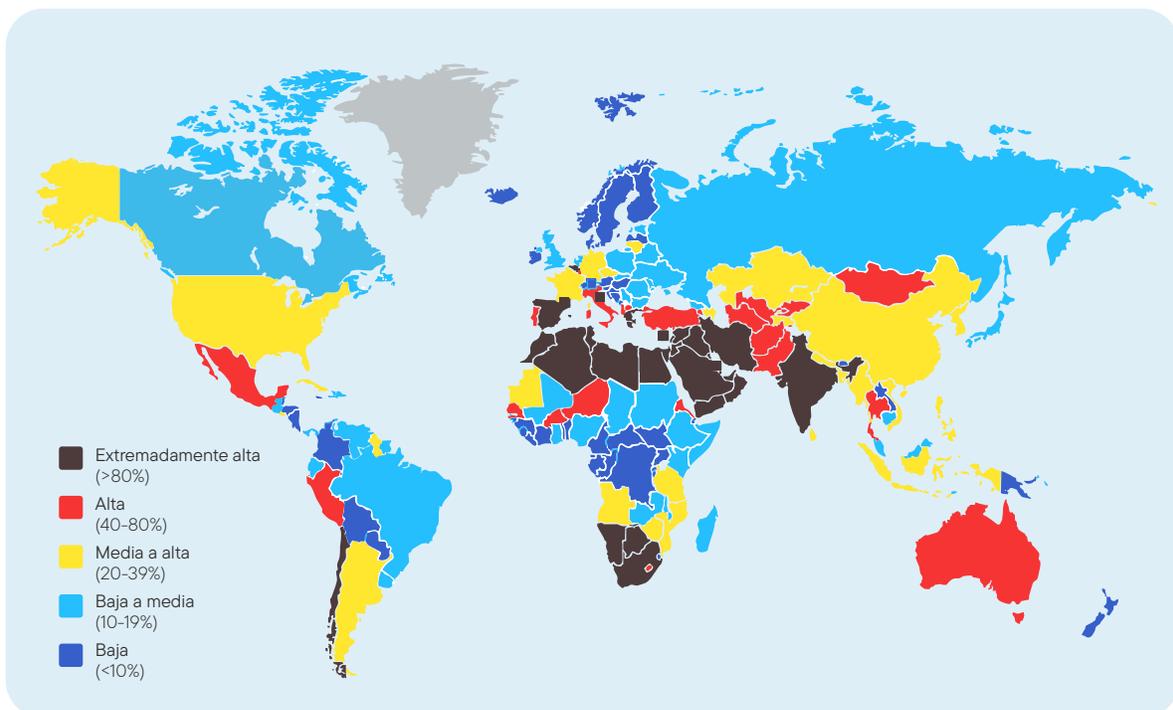
<sup>96</sup> National Weather Service (s.f.) What is ENSO? Fecha de acceso: 22 de octubre de 2024. Disponible en: <https://www.weather.gov/mhx/ensowhat>

<sup>97</sup> NOAA (2025) ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions. Publicado el 10 de febrero de 2025. Disponible en: [https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/lanina/enso\\_evolution-status-fcsts-web.pdf](https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf)

La fase de La Niña está asociada a periodos fríos y de bajas precipitaciones, por lo que se espera que las condiciones de mayores precipitaciones observadas durante 2023 y 2024, no se prolonguen al año 2025<sup>98</sup>.

En cuanto a los pronósticos estimados para nuestro país en los próximos años, el Instituto de Recursos Mundiales (WRI por sus siglas en inglés) indica que Chile se encontrará con un estrés hídrico extremadamente alto (>80%), siendo el único país en el continente en esta situación. Además, se advierte que **el país podría quedar sin agua potable para el año 2050**, y que las regiones más afectadas serían la Metropolitana, Atacama, Valparaíso, Antofagasta y Coquimbo<sup>99</sup>.

**Figura 12:** Relación mundial prevista entre las extracciones de agua y su suministro (nivel de estrés hídrico) en 2050



Fuente: <https://www.statista.com/chart/26140/water-stress-projections-global/>

<sup>98</sup> Cooperativa (2024) Expertos advierten que La Niña podría provocar la misma sequía extrema de hace un siglo. Publicado el 10 de marzo de 2024. Disponible en: <https://noticias.cfm.cl/chile-frente-a-los-posibles-efectos-del-fenomeno-de-la-nina/>

<sup>99</sup> Biobio Chile (2024) Cuál es el año en que Chile podría quedarse sin agua potable y qué regiones serían las más afectadas. Publicado el 15 de mayo de 2024. Disponible en: <https://www.biobiochile.cl/noticias/servicios/explicado/2024/05/15/este-es-el-ano-en-que-chile-podria-que-darse-sin-agua-potable-y-que-regiones-serian-las-mas-afectadas.shtml>

## 6. Aspectos generales del régimen jurídico de la desalinización de agua de mar

Actualmente, en Chile existe una carencia de normativa específica para la instalación, planificación y aprobación de plantas desalinizadoras, así como para el uso del agua desalada. En este sentido, no existe una tipología para su ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), ni se definen limitaciones que permitan minimizar los potenciales impactos ambientales de esta actividad.

No obstante, los proyectos de desalación actuales se basan en **cuatro tipos de normas**:

1. El Código Civil, en particular, su artículo 593, relativo al dominio público de las aguas marinas;
2. La Ley sobre Concesiones Marítimas, contenida en el DFL N° 340/1960, y su Reglamento (D.S. N° 9/2018 del Ministerio de Defensa Nacional), las cuales son requeridas para la instalación de estructuras permanentes en el borde costero;
3. La Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente y el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (D.S. N° 40/2012 del Ministerio del Medio Ambiente), en referencia a la evaluación ambiental de proyectos.
4. La Ley N° 21.639 de 2023 del Ministerio de Obras Públicas, que Modifica normas (DFL N° 850 de 1997) para el desarrollo de proyectos de infraestructura hídrica y desalinización, con el fin de destinar agua al cumplimiento de la función de subsistencia y de riego.

A su vez, en 2021, la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR) de la Armada de Chile elaboró una “Guía sobre lineamientos técnicos mínimos para la Evaluación Ambiental de Proyectos Industriales de Desalación en jurisdicción de la Autoridad Marítima”, la cual fue aprobada por el Ordinario N° 12600/05/1447 de 15 de noviembre de 2021. Cuyo propósito era definir y actualizar los requerimientos mínimos que deben contener los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) o Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) en la materia <sup>100</sup>. Sin embargo, la resolución que aprobó esta guía fue posteriormente revocada, pues el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) a través del Instructivo N° 20239910266, de fecha 18 de enero de 2023, estableció su rectoría técnica exclusiva y excluyente en materias de evaluación de impacto ambiental.

Consecutivamente, el SEA publicó una “**Guía para la Descripción de Proyectos de Plantas Desalinizadoras en el SEIA**”, en marzo de 2023, en el que entrega lineamientos específicos con el propósito de unificar criterios, antecedentes y requisitos en la descripción de proyectos de plantas desalinizadoras.

<sup>100</sup> DIRECTEMAR. 2021. Guía sobre lineamientos técnicos mínimos para la Evaluación Ambiental de Proyectos Industriales de Desalación en jurisdicción de la Autoridad Marítima. Disponible en: [https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20211115/20211115120951/gu\\_a\\_desaladoras\\_2021\\_vf.pdf](https://www.directemar.cl/directemar/site/docs/20211115/20211115120951/gu_a_desaladoras_2021_vf.pdf)

Por otro lado, en lo que respecta a **iniciativas legislativas** presentadas con miras a subsanar la inexistencia de una regulación específica, a la fecha se han presentado **ocho proyectos de ley** en el Congreso Nacional, de los cuales sólo uno -de iniciativa del ejecutivo- completó su tramitación y se convirtió en ley (Ley N° 21.639).

**Tabla 2.** Proyectos de ley relacionados a desalinización

<b>Proyecto de ley Modifica la ley N° 19.300 para incluir, entre los proyectos o actividades que deben someterse al sistema de evaluación de impacto ambiental, los de plantas desalinizadoras</b>			
<b>Boletín N°</b>	16.409-12	<b>Fecha de ingreso</b>	07-11-2023
<b>Estado actual</b>			
Cámara de Diputadas y Diputados - Primer trámite constitucional - Comisión Medio Ambiente y Recursos Naturales			
Este proyecto de ley introduce una modificación al artículo 10 de la Ley N° 19.300, para incluir una tipología de ingreso al SEIA para los proyectos industriales de desalinización. Se encuentra sin movimiento desde su ingreso.			
<b>Proyecto de ley Modifica normas que indica para permitir el desarrollo de proyectos de infraestructura hídrica y de desalinización, con el fin de destinar el agua que se obtenga para el cumplimiento de la función de subsistencia y de riego</b>			
<b>Boletín N°</b>	16.364-09	<b>Fecha de ingreso</b>	16-10-2023
<b>Estado actual</b>			
<b>Publicado - Ley N° 21.639</b> (Diario Oficial del 27/12/2023)			
Modifica el DFL N° 850 de 1997, con el objeto de viabilizar el estudio, la protección y la ejecución de proyectos de infraestructura hídrica tales como desalinizadoras de mar mediante el sistema concesional de la DGC del MOP, y que el agua que se obtenga sea destinada de forma prioritaria para subsistencia y riego.			
<b>Proyecto de ley Modifica el Código de Aguas, con el objeto de incorporar la regulación de las aguas desaladas de mar</b>			
<b>Boletín N°</b>	16.090-33	<b>Fecha de ingreso</b>	12-07-2023
<b>Estado actual</b>			
Senado - Primer trámite constitucional - Comisión de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía.			
Introduce modificaciones al Código de Aguas, para incorporar las aguas desaladas de mar y la actividad de desalación de agua marina, y en la Ley N° 19.300, para que se someta al SEIA a las obras de instalación de la planta desaladora. Se encuentra sin movimiento desde su ingreso.			

### Proyecto de ley que modifica la ley N° 19.300, para incluir las desaladoras en la tipología de actividades sometidas al sistema de evaluación de impacto ambiental y norma sus requisitos.

<b>Boletín N°</b>	13.686-08	<b>Fecha de ingreso</b>	03-08-2020
-------------------	-----------	-------------------------	------------

#### Estado actual

Senado - Primer trámite constitucional - Comisión de Minería y Energía.

Este proyecto de ley de 5 artículos, introduce modificaciones a la Ley N° 19.300 sobre Bases generales del medio ambiente, incorporando las "Plantas desaladoras o desalinizadoras" como categoría para la evaluación ambiental.

Se encuentra sin movimiento desde su ingreso.

### Proyecto de ley sobre el uso de agua de mar para desalinización

<b>Boletín N°</b>	11.608-09	<b>Fecha de ingreso</b>	25-01-2018
-------------------	-----------	-------------------------	------------

#### Estado actual

Senado - Primer trámite constitucional - Sala de sesiones

El proyecto en su origen constaba de tres artículos, posteriormente se incorporaron modificaciones resultando en 44 artículos y 6 transitorios.

Dentro de su contenido se contempla como objeto de la ley "regular el desarrollo sostenible de iniciativas y proyectos de desalinización", se establece una Estrategia Nacional de Desalinización, el procedimiento para el otorgamiento de una concesión de desalinización, y se incorpora en la Ley N° 19.300 una nueva letra t) "Plantas de desalinización de dimensiones industriales y proyectos de extracción intensiva de agua de mar", entre otros aspectos.

Fue aprobado en particular por la Comisión de Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía, y por la Comisión de Hacienda del Senado. Al cierre de este documento se encontraba en Sala a espera de continuar con su tramitación.

### Proyecto de ley que Faculta al Estado para la creación de plantas desalinizadoras

<b>Boletín N°</b>	9.862-33	<b>Fecha de ingreso</b>	15-01-2015
-------------------	----------	-------------------------	------------

#### Estado actual

Senado - Segundo trámite constitucional - Comisión Especial sobre Recursos Hídricos, Desertificación y Sequía

A través de este proyecto de ley se pretende dotar de la autorización para que el Estado fomente la creación de plantas desalinizadoras, apuntando a permitir que el Estado tenga la facultad de desarrollar los estudios, proyección, construcción y creación de estas plantas, a fin de enfrentar la escasez hídrica que mantiene a las regiones del centro y norte de Chile en un estado de catástrofe.

El proyecto se encuentra sin movimiento desde el año 2021.

### Proyecto de ley que Establece la desalinización del agua de mar para su uso en proceso productivos mineros

Boletín N°	9.185-08	Fecha de ingreso	10-12-2013
------------	----------	------------------	------------

#### Estado actual

Cámara de Diputadas y Diputados - Primer trámite constitucional - Comisión de Constitución

Proyecto de artículo único, que modifica el Código de Minería para establecer la obligatoriedad de incorporar la desalinización de aguas marítimas dentro de sus procesos productivos a las empresas mineras cuya extracción de agua sobrepase los 150 litros por segundo.

El proyecto se encuentra sin movimiento desde el año 2017.

### Proyecto de ley que obliga a grandes explotadores mineros a la desalinización de agua para sus procesos productivos

Boletín N°	8.006-08	Fecha de ingreso	02-11-2011
------------	----------	------------------	------------

#### Estado actual

Cámara de Diputadas y Diputados - Primer trámite constitucional - Comisión de Minería y Energía

Iniciativa que propone que la ley obligue a los productores mineros cuya extracción de agua exceda los 200 L/seg. a desalinizar agua para sus procesos industriales, y permitir al Estado recuperar derechos que se liberen en los cauces de ríos para su destinación a consumo humano y pequeña agricultura.

Se encuentra sin movimiento desde su ingreso.

## 7. Panorama actual de los proyectos y plantas desalinizadoras en Chile

De acuerdo a la información disponible en la página web del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA), fue posible constatar la existencia de, a lo menos, 39 proyectos de plantas desalinizadoras que han sido ingresados al SEIA hasta febrero de 2025. De este total, 34 proyectos se encuentran aprobados, tres en proceso de calificación, uno no calificado (término anticipado), y otro con su Resolución de Calificación Ambiental (RCA) revocada.

Cabe señalar que, debido a que **las plantas desalinizadoras no están individualizadas como una actividad específica a ingresar a evaluación de impacto ambiental**, según el artículo 10 de la Ley N° 19.300, fue necesario revisar la totalidad de proyectos ingresados para cada una de las comunas costeras. A su vez, en numerosas ocasiones los nombres de los proyectos no guardan relación con dicha actividad, es por esta razón, que es posible que no todos los proyectos de plantas desalinizadoras ingresados al SEIA hayan sido identificados.

Si bien desde 2023 existe una “*Guía para la descripción de proyectos de plantas desalinizadoras en el SEIA*” publicada por el SEA en marzo de 2023 (ver capítulo 5), anterior a esta fecha no existían directrices para los proponentes y/o titulares de un proyecto en cuanto a los proyectos de plantas desalinizadoras.

De los 39 proyectos relacionados a plantas desalinizadoras en el SEIA, se pudieron identificar 10 tipologías distintas para el ingreso de estas iniciativas. Las tipologías más empleadas por los proponentes y/o titulares al momento de someter un proyecto de tales características a dicho procedimiento fueron: **“Sistemas de agua potable que comprendan obras que capten y conduzcan agua desde el lugar de captación hasta su entrega en el inmueble del usuario” (11) “Emisarios submarinos” (11), “Proyecto de desarrollo minero sobre 5000 tons/mens” (6)**. Además, cuatro proyectos fueron ingresados “voluntariamente” al SEIA en virtud de lo dispuesto en el artículo 164 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA)<sup>101</sup>, al considerar sus proponentes que no se ajustaban estrictamente a ninguna de las tipologías que los obligaban a evaluar ambientalmente su proyecto.

**Tabla 3:** Tipologías de ingreso al SEIA empleadas por titulares de proyectos de desalinización a febrero de 2025 (artículo 10 de la Ley N° 19.300 y 3° del RSEIA)

Tipologías de Ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental	Número	%
a.1) Presas y embalses	1	3%
a.5) Acueductos	2	5%
c.) Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW	1	3%
i.1) Proyecto de desarrollo minero sobre 5000 tons/mes	6	15%
ñ.4) Producción, almacenamiento, disposición o reutilización o transporte por medios terrestres de sustancias inflamables, (sustancias señaladas en las clases 3 y 4 de la NCh. 2120/Of. 89)	2	5%
o.3) Sistemas de agua potable que comprendan obras que capten y conduzcan agua desde el lugar de captación hasta su entrega en el inmueble del usuario	11	28%
o.6) Emisarios submarinos	11	28%
o.7) Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales líquidos	1	3%
t.) Ingreso voluntario (DS 95)	3	8%
u.) Ingreso voluntario (DS 40)	1	3%
	<b>39</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** Elaboración propia a partir de la información disponible en <https://www.sea.gob.cl/>

<sup>101</sup> El artículo 164 del Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental indica que el titular que someta voluntariamente un proyecto o actividad al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, quedará sujeto a las cargas y obligaciones que se establecen en la Ley y en el Reglamento. El Reglamento se encuentra disponible en: [https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2024/05/30/DS40\\_Refundido2024\\_SEA.pdf](https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2024/05/30/DS40_Refundido2024_SEA.pdf)

En lo que respecta a la vía de ingreso, de los 39 proyectos de desalinización identificados en evaluación en el SEIA, **21** ingresaron a través de **Declaración de Impacto Ambiental (DIA)** y **18** a través de **Estudio de Impacto Ambiental (EIA)**.

**Figura 13:** Proyectos de desalinización según vía de ingreso al SEIA, a febrero de 2025



**Fuente:** Elaboración propia a partir de la información disponible en <https://www.sea.gob.cl/>

Con relación a **las plantas desalinizadoras que se encuentran actualmente en funcionamiento**, según un catastro elaborado por el **Comité Asesor Ministerial Científico sobre Cambio Climático** (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación), la **Asociación Chilena de Desalación y Reúso** (ACADES), y el **Consejo Minero**, a marzo de 2023 se encontraban operando en todo el país **41 plantas desalinizadoras** y **24 proyectos vigentes en diferentes etapas de desarrollo** (desde ingresados a evaluación hasta en construcción).

**Figura 14:** Plantas desalinizadoras en Chile



**Catastro de plantas desalinizadoras en Chile (2024)**

Uso del agua y estado de operación de plantas desalinizadoras

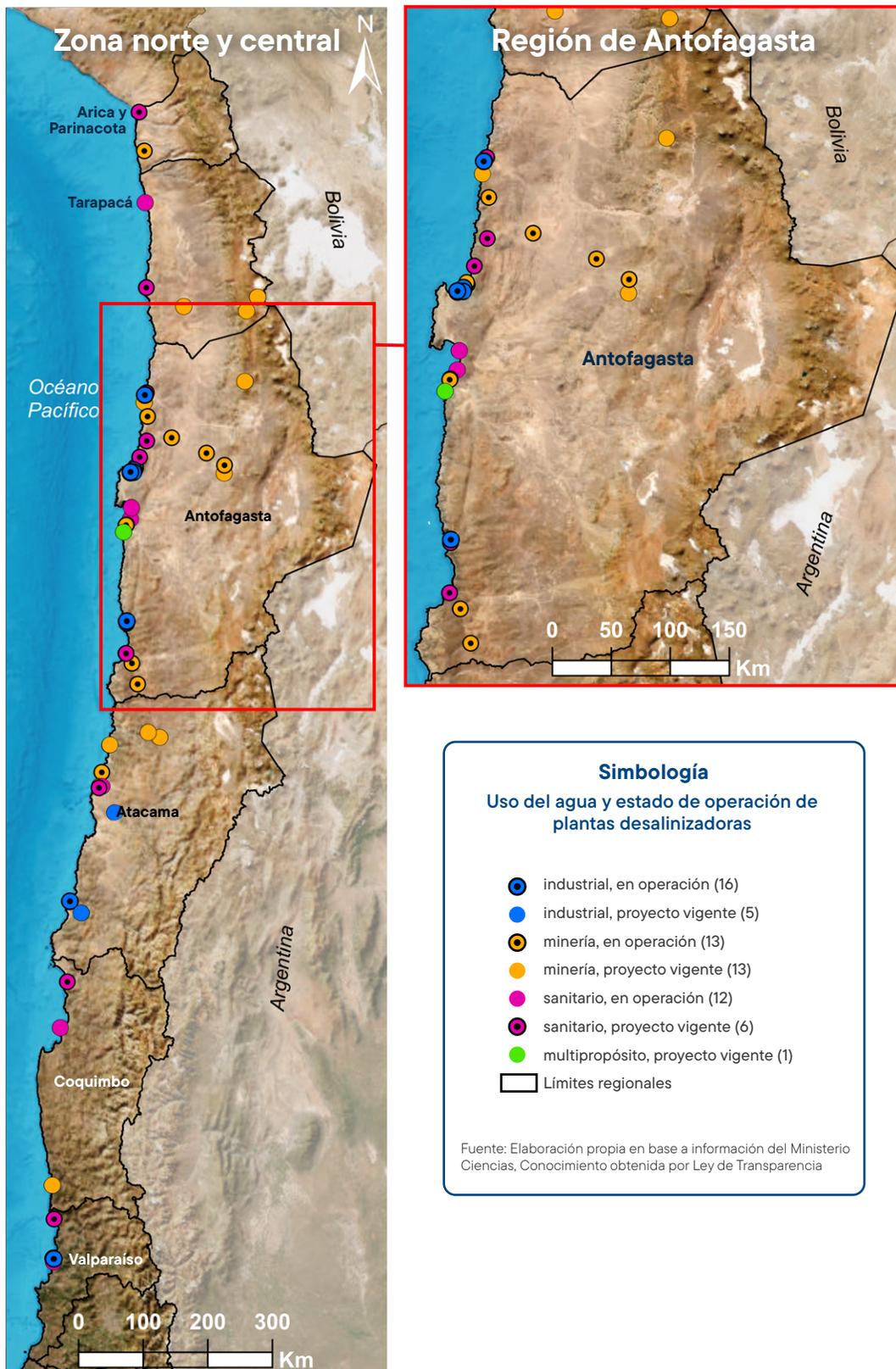
**Simbología**

- industrial, en operación (16)
- industrial, proyecto vigente (5)
- minería, en operación (13)
- minería, proyecto vigente (13)
- sanitario, en operación (12)
- sanitario, proyecto vigente (6)
- multipropósito, proyecto vigente (1)
- Límites regionales

La información georreferenciada de las plantas desalinizadoras se obtuvo de fuentes públicas. Por este motivo, en algunos casos la ubicación de una planta no está en la zona costera, sino que corresponde a localización del titular del proyecto que utiliza el agua procesada (por ej, operaciones mineras).

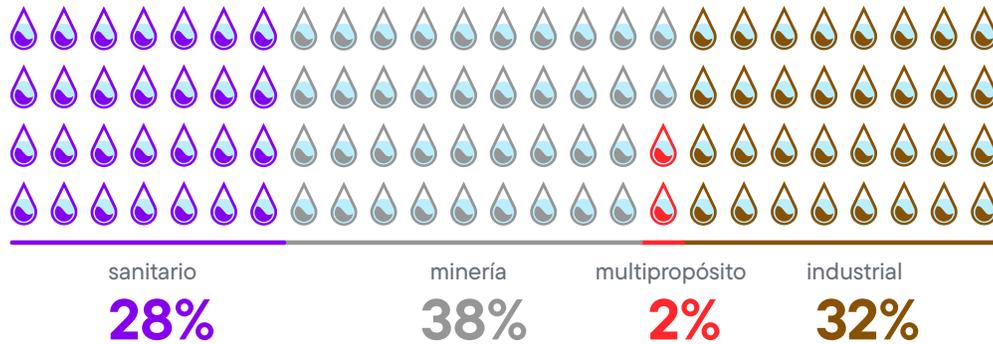
Sistema de referencia  
Proyección: UTM WGS84  
Datum: WGS84

Figura 15: Plantas desalinizadoras en la zona norte y central de Chile



En cuanto al destino del agua desalada, esta se dirige principalmente a **minería** (25) y uso **industrial** (21), que concentran en su conjunto un **70% del agua desalada del país**, mientras que el agua desalada para uso sanitario o de agua potable (18) concentra el 28% de las plantas y proyectos de desalinización.

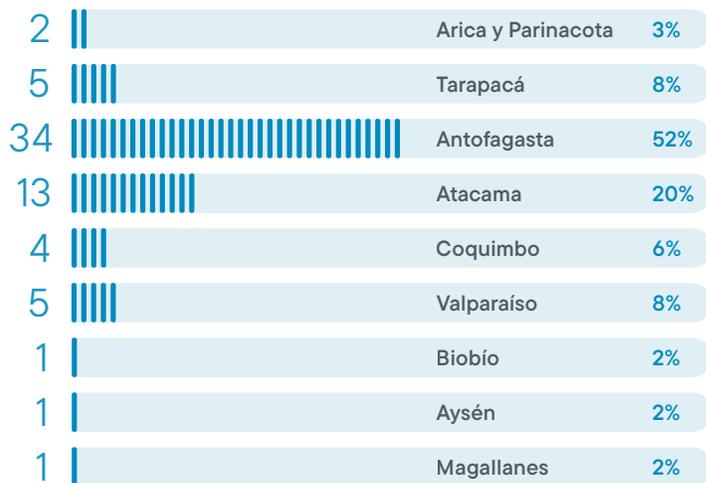
**Figura 16.** Plantas desalinizadoras en Chile según destino del agua



**Fuente:** Elaboración propia a partir de información adquirida por transparencia del Ministerio de Ciencias, Tecnología, Conocimiento e información, enero 2024.

En términos geográficos, la región que concentra el mayor número de plantas desalinizadoras (operativas y proyectos vigentes) es **Antofagasta**, que concentra más de la mitad de los plantas y proyectos (34), seguida por **Atacama** (13), **Tarapacá** (5) y **Valparaíso** (5).

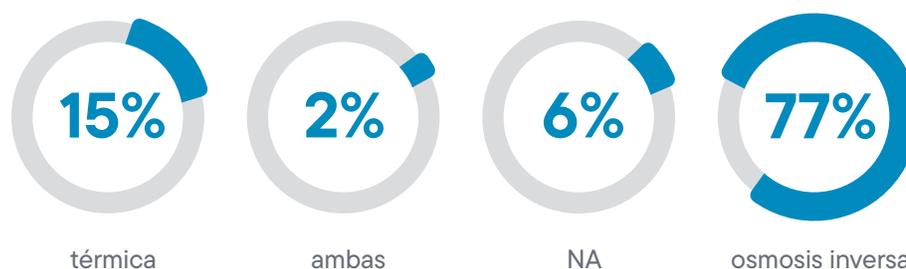
**Figura 17:** Número de plantas desalinizadoras operativas y proyectos vigentes, por región



**Fuente:** Elaboración propia a partir de información adquirida por transparencia del Ministerio de Ciencias, Tecnología, Conocimiento e información, enero 2024.

En lo que concierne al tipo de tecnología utilizada, la desalación a través de osmosis inversa se presenta en 50 de los casos, abarcando un 77% de las plantas y proyectos vigentes, sólo 10 plantas y/o proyectos utilizan desalación a través de procesos térmicos y uno en que se utilizan ambas tecnologías. Existen, además, algunos casos donde no existía disponibilidad de información (NA=4).

**Figura 18:** Plantas desalinizadoras por tecnología de desalación de agua



**Fuente:** Elaboración propia a partir de información adquirida por transparencia del Ministerio de Ciencias, Tecnología, Conocimiento e información, enero 2024.

Es importante mencionar que actualmente, a nivel nacional y global, existe un gran impulso al desarrollo de proyectos para la producción de hidrógeno verde (H2V), y muchas de estas iniciativas contemplan la instalación de plantas desalinizadoras para obtener el agua necesaria en la producción de H2V. A diciembre de 2023, la Asociación Chilena del Hidrógeno ha informado de 64 proyectos para la producción de hidrógeno, que se encuentran en diferentes fases de desarrollo<sup>102</sup>. Sin embargo, estas iniciativas no han sido explicitadas en este documento ni en el catastro de plantas desalinizadoras de marzo de 2023.

<sup>102</sup> Disponible en: <https://h2chile.cl/mapa-de-proyectos/>

## 8. Conclusiones

Chile ha sido pionero en la desalinización de agua de mar, con antecedentes que se remontan al siglo XIX. Desde las primeras máquinas destiladoras en el puerto de Cobija hasta innovaciones como la primera desaladora solar del mundo, el país ha demostrado una notable capacidad de adaptación y avance tecnológico en esta área. Esto ha permitido enfrentar la escasez de agua en zonas críticas, y también ha sentado las bases para la desalinización a escala industrial que se desarrolla hoy en día.

En términos de la tecnología utilizada para desalar agua, los procesos térmicos predominantes en un inicio han dado paso a la adopción de procesos de membrana, como la osmosis inversa, que ahora abarcan el 65% de la industria mundial. A lo largo de los años, estas tecnologías han mejorado la eficiencia y reducido los costos operativos. No obstante, independientemente de la tecnología empleada, todos los métodos de desalinización comparten la necesidad de un tratamiento previo y posterior del agua, así como un manejo adecuado del concentrado de salmuera, con el objetivo de optimizar el consumo de energía y asegurar la producción de agua dulce de calidad.

Los sistemas de captación de agua de mar utilizados por las plantas desalinizadoras pueden generar impactos considerables en el ambiente marino, afectando tanto a la biodiversidad como a la estructura de los ecosistemas. A pesar de los avances tecnológicos, el arrastre, daño y captura de organismos marinos continúan siendo desafíos importantes. Es fundamental implementar medidas de mitigación, como el uso de tomas subterráneas, la reducción de la velocidad de succión y la ubicación estratégica de las plantas desalinizadoras. Además, se deben considerar las dinámicas poblacionales y la distribución de especies al planificar la instalación de estas plantas, para minimizar su impacto en el medio ambiente marino.

A su vez, los impactos de los sistemas de descarga de las plantas desalinizadoras en el ambiente marino pueden llegar a ser significativos. La salmuera, los productos químicos y los metales liberados pueden alterar tanto la composición fisicoquímica del agua de mar como la biodiversidad y la estructura de los ecosistemas marinos. Para mitigar estos efectos, es fundamental mejorar la eficiencia en la reducción del volumen de salmuera, eliminar productos químicos nocivos, incrementar la dilución de la salmuera y ubicar los sistemas de desagüe lejos de zonas ecológicamente sensibles. Estas medidas ayudarán a minimizar los impactos negativos y a proteger los ecosistemas marinos cercanos a las plantas desalinizadoras.

El creciente uso de plantas desalinizadoras y su alta demanda energética pueden resolver problemas locales de escasez de agua, pero también contribuyen a las emisiones globales de GEI. Para mitigar este impacto, es crucial implementar tecnologías más eficientes y aumentar el uso de energías renovables. Esto permitirá avanzar hacia soluciones más sostenibles y reducir la huella ambiental de la desalinización.

La escasez hídrica en Chile sigue siendo un desafío crítico, con pronósticos que indican un estrés hídrico extremadamente alto en los próximos años. Es esencial continuar evaluando y adoptando alternativas que no se sostengan en una única solución, como la desalinización de agua de mar, para asegurar un suministro de agua adecuado y enfrentar los efectos del cambio climático en el país desde una mirada integral de la utilización de los recursos hídricos.

La ausencia de una regulación específica para la desalinización de agua de mar en Chile continúa siendo un tema pendiente. Es crucial avanzar en la creación de normas que garanticen una evaluación ambiental adecuada y un óptimo funcionamiento de las plantas desalinizadoras. Esta es una herramienta esencial para minimizar los impactos ambientales de esta industria y asegurar un suministro de agua desalada eficiente y ambientalmente responsable.

El desarrollo y la implementación de plantas desalinizadoras en Chile es necesaria para enfrentar la crisis hídrica que afecta al país, pero no puede ser la única solución y debe complementarse con muchas otras medidas. Para enfrentar un desafío de esta magnitud no existe una única respuesta, pues es un problema multidimensional, el cual, además, se irá agudizando en años venideros como consecuencia del cambio climático. Un aspecto esencial es analizar y optimizar el uso de agua actual y, en especial, la eficiencia de uso de los recursos hídricos disponibles, desde todos los aspectos que abarca, considerando los usos domésticos, industriales e incluso el modelo agroexportador del país que requiere grandes cantidades de agua para funcionar.

## 9. Recomendaciones

1. En los procesos de desalación de agua de mar se pueden reducir los impactos sobre los organismos marinos vivos utilizando sistemas de captación de agua subterráneas, ubicando las plantas desaladoras lejos de zonas con alta productividad biológica, reduciendo la velocidad de los sistemas de toma de agua e instalando barreras biológicas. Se deben tener en cuenta, además, la distribución y abundancia de peces y otras dinámicas poblacionales antes de planificar la instalación de plantas desaladoras.
2. Al momento de evaluar ambientalmente los impactos asociados a la instalación de una planta desaladora, se deben considerar las **características de la planta** (sistema de captación de agua y capacidad o volumen de succión), así como las **características locales del lugar de la toma de agua** (hidrografía, población natural y estado ambiental). Se debe evaluar, asimismo, la presencia previa de otras actividades industriales, pues pueden maximizar los impactos sobre el ambiente marino.
3. Se deben implementar **medidas de mitigación de los sistemas de descarga** de las plantas desaladoras, como la reducción del volumen de salmuera mediante una mayor eficiencia, la eliminación de la salmuera o de los productos químicos nocivos, incrementar la dilución de la salmuera y ubicar los sistemas de desagüe lejos de zonas de alta productividad biológica y/o ecológicamente sensibles.
4. Se pueden reducir los impactos energéticos de las plantas desaladoras avanzando en la **descarbonización de la matriz energética** del país, y aumentando el uso de energías renovables.
5. Se debe avanzar en la dictación de **regulaciones específicas para la desalinización de agua de mar**, que contemplen una adecuada evaluación ambiental de las plantas desalinizadoras considerando todos los impactos que estas producen en el ambiente marino y en la zona costera, de manera de minimizarlos al máximo.
6. En consideración a la proliferación de plantas desaladoras en la zona costera de la zona centro-norte del país, resulta esencial avanzar hacia el establecimiento de **criterios que permitan, en el corto plazo, evaluar los impactos en el medio marino**. En esta línea, todos los proyectos de plantas desaladoras deberían ingresar al SEIA por EIA.
7. Se debe realizar una evaluación exhaustiva de los impactos ambientales asociados a la desalinización de agua de mar, junto con limitar el número de plantas desalinizadoras que se pueden instalar en un determinado espacio. En este sentido, **resulta urgente un adecuado ordenamiento de la zona costera** es esencial para regular y armonizar las actividades que se realizan en ella, así como para evaluar cómo impacta la sumatoria de las actividades al ambiente marino y no solamente la evaluación individual de cada proyecto.

## 10. Referencias

**Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.** (2017). Impacto Ambiental de Desalinización de Agua de Mar. Asesoría Técnica Parlamentaria. Departamento de estudios, extensión y publicaciones. 22 de mayo de 2017.

**Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2).** (2015). La megasequía 2010-2019: Una lección para el futuro. Informe a la Nación. Noviembre 2015.

**Cooley, H., Ajami, N. & M. Heberger.** (2013). Key Issues in Seawater Desalination in California: Marine Impacts. Pacific Institute, Oakland, California. December 2013. 32 pp.

**Herrera-León, S., C. Cruz, M. Negrete, J. Chacana, L.A. Cisternas & A. Kraslawski.** (2022). Impact of seawater desalination and wastewater treatment on water stress levels and greenhouse gas emissions: The case of Chile. *Science of The Total Environment*, Volume 818, 20 April 2022, Article 151853. 11pp.

**Kress, N.** (2019). *Marine Impacts of Seawater Desalination: Science, Management, and Policy*. Elsevier. Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands.

**Mackey, E.D., N. Pozos, J. Wendle, T. Seacord, H. Hunt, & D.L. Mayer.** (2011). *Assessing Seawater Intake Systems for Desalination Plants*. Denver, Colorado: Water Research Foundation. En: Cooley, H., N. Ajami & M. Heberger (2013). *Key issues in seawater desalination in California: Marine Impacts*. Pacific Institute, Oakland, California.

**Mahmoud, S. & S. B. Riffat.** (2014). Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 2014, 9, 1-19.

**Maino, V., Recabarren, F., Miranda, C. & E. De La Fuente.** (2011). *Historia del agua en el desierto más árido del mundo*. Matte Editores, Santiago de Chile, 2011. 184 pp.

**Roberts, D. A., E. L. Johnston & N. A. Knott.** (2010). Impacts of desalination plant discharges on the marine environment: A critical review of published studies. *Water Research* Vol. 44, N° 18, 2010, pp. 5117-5128.

**York, R. & M. Foster.** (2005). *Issues and Environmental Impacts Associated with Once-Through Cooling at California's Coastal Power Plants*. California Energy Commission. Sacramento, California. En: Cooley, H., N. Ajami & M. Heberger (2013). *Key issues in seawater desalination in California: Marine Impacts*. Pacific Institute, Oakland, California. 26 pp.

