



UNIVERSIDAD TECNOLOGÍA METROPOLITANA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA CONSTRUCCIÓN Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
DEPARTAMENTO DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y MEDIO AMBIENTE
ESCUELA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS Y MEDIO AMBIENTE

“ESTUDIO DE PRE-FACTIBILIDAD DE PLANTA DESALINIZADORA EN LA COMUNA DE EL TABO”

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR A TÍTULO DE
INGENIERO (A) CIVIL EN PREVENCIÓN DE RIESGOS Y
MEDIO AMBIENTE

AUTORES:
MIRANDA VELÁSQUEZ, MATÍAS
VIDAL REYES, NINOSKA

PROFESOR GUÍA:
QUIROZ VERDUGO, ERICH

SANTIAGO – CHILE

2020

Autorización para la Reproducción del Trabajo de Titulación

1. Identificación del trabajo de titulación

Nombre del(os) alumnos(s)

Matías Ignacio Miranda Velásquez
Ninoska Manuela Vidal Reyes

Rut

Matías Miranda: 19.636.142-1
Ninoska Vidal: 19.589.780-8

Dirección

Matías Miranda: Pasaje Húsares #1277 La Florida. Región Metropolitana
Ninoska Vidal: Av. La paz s/n Lo Ulloa. Comuna de Coltauco. VI Región

E-mail

matias.mirandav@utem.cl
ninoska.vidalr@utem.cl

Teléfono

Matías Miranda: +56931867868
Ninoska Vidal: +56954881335

Título de Tesis: Propuesta de Estudio de Pre-Factibilidad de Planta Desalinizadora en la Comuna de El Tabo

Escuela: Escuela de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente.

Carrera o programa: Ingeniería Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente

Título al que opta: Ingeniero Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente.

2. Autorización de Reproducción (seleccione una opción)

- a) Este trabajo de titulación no puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso escrito del(os) autor(es), exceptuando la cita bibliográfica, resumen y metadatos que acreditan al trabajo y a su(s) autor(es).

Fecha: _____

Firma: _____

- b) Se autoriza la reproducción total o parcial de este trabajo de titulación, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

En consideración a lo anterior, se autoriza su reproducción de forma (marque con una x):

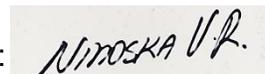
<input checked="" type="checkbox"/>	Inmediata
<input type="checkbox"/>	A partir de la siguiente fecha: _____ (mes/año)

Fecha: 04/11/2020

Firma:



Firma:



Esta autorización se otorga en el marco de la ley N°17.36 sobre Propiedad Intelectual, con carácter gratuito y no exclusivo para la institución.

NOTA OBTENIDA: 6,4



The image shows a handwritten signature in blue ink on the left and an official circular stamp on the right. The stamp contains the text 'UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA METROPOLITANA' around the perimeter, 'SECCIÓN DE ASESORIA Y DESARROLLO' at the top, and 'DIRECCIÓN' at the bottom. In the center of the stamp is a small crest or logo.

Firma y timbre autoridad
responsable

DEDICATORIA

En primer lugar y más importante, este proyecto de tesis va dedicado a nuestros padres Manuela y Miguel, y Verónica y José, ya que sin el apoyo de ellos y ellas nada hubiese sido posible. Sin dejar de mencionar a toda la familia que hay detrás, hermanos, sobrinos y parejas.

También, dedicar este gran logro a todos nuestros amigos, de infancia y los que conocimos a los largo de esta carrera, en general a cada persona que formó parte de nuestra vida universitaria, aportando su granito de arena.

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	11
1.1	Antecedentes generales	11
1.2	Planteamiento del problema	14
1.3	Justificación del problema.....	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo General.....	16
2.2	Objetivo Específicos	16
3	MARCO TEÓRICO	17
3.1	Revolución Industrial	17
3.2	Gases de efecto invernadero.....	19
3.3	Temperatura Global.....	24
3.4	Escasez Hídrica en el Mundo.....	31
3.4.1	Países con mayor riesgo de sufrir una crisis hídrica	33
3.4.2	¿Qué consecuencias tiene la escasez de agua en el mundo?.....	34
3.5	Escasez Hídrica en Chile.....	35
3.6	Alternativas para combatir la escasez hídrica.....	45
3.7	Situación global de la desalinización.....	47
3.7.1	Desalinización en Chile.....	51
3.8	Método de desalinización	54
3.8.1	Destilación Súbita Multietapas (MSF)	56
3.8.2	Destilación multiefecto (MED)	57
3.8.3	Compresión de vapor (CV).....	59
3.8.4	Osmosis inversa (OI).....	61
3.9	Potabilización	65
4	METODOLOGÍA	66
4.1	Selección del área de estudio	66
4.2	Recopilación bibliográfica de los métodos de desalinización.....	68
4.3	Criterios de evaluación de los métodos de desalinización	69
4.4	Cuadro Comparativo	70
5	RESULTADOS	72
5.1	Zona de Aplicación	72
5.1.1	Evaluación de Zonas	76

5.1.2 Selección de la zona de aplicación.....	77
5.2 Capacidad de Abastecimiento.....	78
5.3 Comparación de tecnologías de desalinización en estudio.....	78
5.4 Selección de Métodos.....	80
5.5 Recurso Solar.....	82
5.6 Recurso Eólico.....	86
5.6.1 Aerogeneradores.....	88
5.7 Osmosis Inversa y Destilación MSF.....	90
5.7.1 Osmosis Inversa.....	90
5.7.2 Destilación Súbita Multietapas (MSF).....	110
5.8 Normativa Aplicable.....	114
5.8.1 Norma Chilena de Calidad y Muestreo de Agua Potable.....	114
5.8.2 Ley Base Generales del Medio Ambiente.....	117
5.8.3 Reglamento del SEIA y RCA.....	117
5.8.4 Permisos Ambientales Sectoriales.....	121
5.8.5 Concesiones Marítimas.....	124
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
7. BIBLIOGRAFIA.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Oferta y demanda del recurso Hídrico en Chile.....	12
Figura 2: Consumo de energía por fuente en el mundo	17
Figura 3: Esquema representativo del efecto invernadero.....	19
Figura 4: Emisiones antropogénicas anuales totales de GEI por gases, 1970 – 2010	21
Figura 5: Principales emisiones de GEI, excluido el uso de suelo.	23
Figura 6: Temperatura v/s Actividad Solar	24
Figura 7: Modelo de Mapas Globales Anuales de Temperatura	27
Figura 8: Cambio global del contenido de calor del océano en los 2000 m superiores	28
Figura 9: Presupuesto de calor oceánico	29
Figura 10: Mapa de comportamiento anual de contenido de calor y profundidad de 0 – 700 m	30
Figura 11: Parámetros global de estrés hídrico por provincia o región	31
Figura 12: Retiradas globales de agua.....	32
Figura 13: Oferta referencial de agua superficial (a) y subterránea (b)	36
Figura 14: Brecha Hídrica en Chile.....	40
Figura 15: Brecha hídrica de cuencas analizadas	41
Figura 16: Umbrales de Sequia Meteorológicas según índice SPEI	42
Figura 17: Anomalía de precipitaciones anuales en Santiago entre 1866 y 2018.	43
Figura 18: Mapa de Tendencia de precipitación (a) y Evapotranspiración (b) en Chile.....	44
Figura 19: Línea de tiempo “Descubrimiento de los métodos de desalinización”.....	47
Figura 20: Distribución global de instalaciones desaladoras y sus capacidades	49
Figura 21: Distribución porcentual de la capacidad desaladora por países	50
Figura 22: Primera planta solar desalinizadora de agua en el mundo. Desierto de Atacama	52
Figura 23: Distribución de Plantas Desalinizadoras a nivel Nacional.....	53
Figura 24: Esquema de proceso de desalación flash multietapas.....	57
Figura 25: Esquema de proceso de destilación multiefectos (3 efectos)	58
Figura 26: Esquema simplificado de destilación de compresión mecánica.....	60
Figura 27: Esquema de funcionamiento de compresor jet.....	60
Figura 28: Esquema de proceso de osmosis inversa	61
Figura 29: Diagrama resumen de proceso metodológico.....	71
Figura 30: Santuario de la Naturaleza Laguna el Peral. 1975	73
Figura 31: Santuario de la Naturaleza Laguna el Peral. 2016	73
Figura 32: “Plano Regulador Comuna de El Tabo”	74
Figura 33: Demarcación de posibles zonas para instalación de la planta desalinizadora.....	75
Figura 34: Características de las zonas	76

Figura 35: Traslación de la tierra en torno al sol	83
Figura 36: Comportamiento de la radiación solar	84
Figura 37: Desglose de la figura anterior	84
Figura 38: Trayectoria de radiación	85
Figura 39: Capacidad de instalación de paneles fotovoltaicos	86
Figura 40: Comportamiento del viento a 5 m de altura	87
Figura 41: Comportamiento del viento de forma interanual	87
Figura 42: Parte de un Aerogenerador	88
Figura 43: Proporciones del diámetro del rotor	89
Figura 44: Diagrama de Proceso de Osmosis Inversa	90
Figura 45: Captación de agua de mar	91
Figura 46: Pre-tratamiento de agua de mar	92
Figura 47: Proceso de desalación por bastidores	93
Figura 48: Membrana que realizan el proceso de desalación	94
Figura 49: Procesos y listado de equipos para proceso de OI	95
Figura 50: Equipo de filtraje	97
Figura 51: Filtro Basket	99
Figura 52: Unidad de Ultrafiltración	100
Figura 53: Filtro Micro Cartucho	103
Figura 54: Bomba OI HP	104
Figura 55: Sistema de Membrana OI	105
Figura 56: Intercambiador de Presión	106
Figura 57: Planta de desalación MSF Al-Jubail (Arabia Saudí)	111
Figura 58: Proceso de Evaporación Súbita Múltiple Etapa (MSF)	112
Figura 59 : Diagrama Resumen de Estudio de Impacto Ambiental	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Gases de efecto invernadero producidos por la actividad humana.....	20
Tabla 2: Diez años más cálidos (1880-2019).....	25
Tabla 3: Temperatura Promedio Anual	26
Tabla 4: Ranking de países más afectados por la escasez hídrica.....	33
Tabla 5: Demanda de agua por captación y devolución por región.....	37
Tabla 6: Captación y devolución de agua por actividad.....	38
Tabla 7: Categorías de evaluación del Índice de Escasez Hídrica	39
Tabla 8: Métodos de combate para la escasez hídrica	46
Tabla 9: Métodos de desalación	55
Tabla 10: Criterios de evaluación de área de estudio	66
Tabla 11: Matriz de decisión de criterios de estudio de zona.....	68
Tabla 12: Matriz de Decisión.....	70
Tabla 13: Aplicación de tabla de decisión N°10.....	77
Tabla 14: Comparación de Métodos en Estudio	79
Tabla 15: Aplicación de tabla de decisión	80
Tabla 16: Flujos Operacionales	96
Tabla 17 : Parámetro Bomba filtro multimedia	97
Tabla 18: Parámetros Operacionales Filtro Multimedia	98
Tabla 19: Parámetros Operacionales Bomba filtro basket	98
Tabla 20: Parámetros Operacionales Filtro Basket.....	99
Tabla 21: Parámetros Operacionales Bomba unidad ultrafiltración	100
Tabla 22: Parámetros Operacionales Unidad ultrafiltración.....	101
Tabla 23: Dimensiones Tanque de Almacenamiento OI	101
Tabla 24: Parámetros Operacionales Bomba alimentación OI	102
Tabla 25: Parámetros Operacionales Filtro micro cartucho	102
Tabla 26 : Parámetros Operacionales Bomba OI HP	104
Tabla 27: Parámetros Operacionales Bomba Booster	105
Tabla 28: Parámetros Operacionales Sistema de membrana OI	106
Tabla 29: Parámetros Operacionales Intercambiador de presión	107
Tabla 30: Parámetros Operacionales Bomba circulación post OI.....	107
Tabla 31: Dimensiones Tanque de almacenamiento permeado.....	108
Tabla 32: Parámetros Operacionales Bomba post tratamiento.....	108
Tabla 33: Sistemas de Dosificación	109
Tabla 34: Parámetro Operacionales Planta OI	109
Tabla 35: Ventajas y desventajas de la destilación por MSF.....	113
Tabla 36: Requisitos Físicos.....	115
Tabla 37: Requisitos Químicos	115
Tabla 38 : Requisitos Radioactivos	116

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes generales

El agua es un recurso vital para la existencia del ser humano, la flora y la fauna de este mundo, su principal uso es para su consumo, pero también se utiliza para otros fines, como agricultura, industrialización, etc. Este recurso que poco a poco se ha ido agotando por factores externos como lo son las malas prácticas y la alta demanda han desencadenado lo que actualmente se denomina como escasez hídrica, lo cual genera una gran preocupación a nivel mundial.

En el planeta, el recurso agua se encuentra presente en un 97% perteneciente al océano y el 3% se encuentra congelado. De este, solo el 80% se encuentra en la superficie y el 20% se encuentra bajo tierra en napas subterráneas. Sin embargo, el más importante para la vida es el agua dulce que se encuentra solo en un 3% del total de agua disponible en el planeta, que no es de disponibilidad inmediata, ya que se encuentra congelada.¹ En relación a lo anterior, Chile tiene características hídricas y climáticas muy heterogéneas a lo largo de esta, como se puede ver en la siguiente figura.

¹ (Fundación Aquae, 2014)

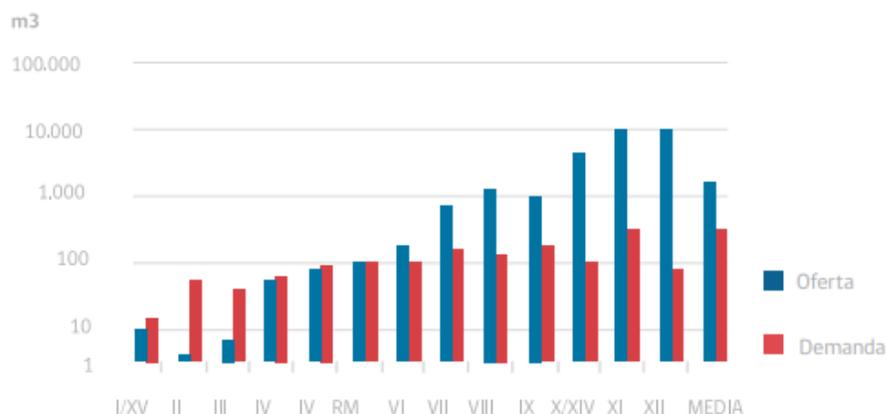


Figura 1: Oferta y demanda del recurso Hídrico en Chile

Fuente:(Ministerio de Obras Públicas, 2013)

De acuerdo a lo reportado en la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012–2025, elaborada por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), el recurso minero se encuentra principalmente desde la Región Metropolitana hacia el norte, precisamente la zona en la que se concentra una situación de estrés hídrico y déficit hídrico.²

Mientras en la zona norte se presenta una menor oferta de agua para el abastecimiento de las principales actividades, la zona sur dispone de una mayor oferta del recurso hídrico.

En este contexto, la extracción y uso de agua de mar por parte de las mineras ha aumentado en un 666% en el periodo 2009 a 2016, pasando del 3% al 15% del total de agua extraída en igual periodo.³

² (Ministerio de Obras Públicas, 2013)

³ (Gracia, 2017)

Gracias a los avances tecnológicos se han reducido significativamente en los últimos 30 años, los costos energéticos y por ende económicos de desalar agua, lo que ha provocado su expansión en todas las zonas costeras del mundo con problemas de suministro hídrico.

El abastecimiento de agua potable está dividido en dos partes: primero, las áreas de concesión a cargo de empresas sanitarias. Por ejemplo, en la Región de Valparaíso operan cuatro (ESVAL, SASIPA, COOPAGUA y ESSSI) y son reguladas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Segundo, las áreas no reguladas que normalmente corresponden a localidades rurales donde los sistemas de agua potable son administrados por Comités y Cooperativas conformadas por los mismos habitantes de las localidades.

Por medio del Decreto N° 308 publicada el 17 de septiembre del 2019, se declara como zona afectada por catástrofe a las comunas de las regiones Coquimbo y Valparaíso. Es por esto que la Comuna del Tabo se encuentra dentro de la zona afectada por la sequía.

Actualmente, el proceso de osmosis inversa es el más usado para llevar a cabo la desalinización del agua, existiendo 11 operaciones con empleo directo de agua de mar en sus procesos y/o de desalinización. A futuro, se prevén al menos 20.

La presente memoria se enfoca en analizar la situación del abastecimiento de agua en la zona litoral de la Comuna del Tabo, proponiendo soluciones dirigidas específicamente a la desalinización de agua de mar.

1.2 Planteamiento del problema

La comuna de El Tabo, que en la actualidad cuenta con una población de aproximadamente 13 mil habitantes, dispone de distintas alternativas de captación de agua como lo son la red pública, norias o pozos, estero, río, lago o camiones aljibe, entre otras, como lo menciona el Plan de Desarrollo Comunal actualizado del 2012-2016.

El problema parte en 2008, cuando las principales fuentes de abastecimientos de agua potable (agua potable rural, APR, noria y pozos) comenzaron a reducir su capacidad debido a la mayor demanda de la población y la escasa razón de aportación de agua, debido a sequías en la zona. Por otra parte, la empresa concesionaria del abastecimiento del agua potable en la localidad ESVAL, no cuenta con el servicio hacia zonas interiores debido a que los últimos años se han instalado viviendas precarias sin la conexión sanitaria necesaria, lo que lleva que las fuentes naturales antes mencionada se encuentren sobre demandadas.

El Tabo junto con otras localidades como Santo Domingo, Algarrobo y Las Cruces, presentan en la temporada estival gran congregación de personas que llegan desde las principales urbes, un ejemplo de aquello es la comuna del Tabo que incrementa su población en época estival desde 13 mil habitantes aproximadamente hasta 500 mil habitantes, lo que implica una presión y estrés hídrico considerable sobre las fuentes generadoras del recurso agua.

1.3 Justificación del problema

Las plantas desalinizadoras son instalaciones destinadas a la desalinización, este es un proceso industrial mediante el cual se elimina la sal del agua de mar con la finalidad de obtener agua para un bien determinado, ya sea para la agricultura, minería o consumo humano. Asimismo, también presentan inconvenientes. En el proceso de extracción de la sal se producen residuos principalmente salinos (salmuera) y sustancias contaminantes que pueden perjudicar a la flora y fauna del sector, además de un consumo elevado de energía eléctrica.

Con el fin de optimizar los procesos, actualmente se están realizando estudios de carácter social, económicos y ambientales para construir plantas desalinizadoras más competitivas, menos contaminantes y que utilicen fuente de energías renovables.

Actualmente, existen variados sistemas o técnicas de desalinización de agua marina para convertirla en agua potable, ya sea a través de membranas o térmicas, métodos más comunes y utilizados para este proceso. Todas tienen ventajas y desventajas una sobre otra, tal es el caso de la desalinización térmica y su bajo porcentaje de recuperación.

De manera general, la desalinización térmica es aplicada a los procesos en los cuales el objetivo es producir agua con alta calidad, es decir, con muy poco contenido en sales. En el caso contrario, la desalinización por ósmosis inversa se aplica principalmente para la producción de agua potable, ya que esta tecnología, a pesar de su alto consumo de energía, permite obtener agua potable en grandes cantidades, lo que le concede tener el costo por metro cúbico producido más barato en el mercado de desalación.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Evaluar la pre-factibilidad de la instalación de planta(s) desalinizadora(s) en la comuna de El Tabo.

2.2 Objetivo Específicos

- Evaluar las diferentes técnicas de desalinización de agua.
- Identificar y analizar las características ambientales que se presentan en la comuna.
- Estudiar la factibilidad social, ambiental y económica que conllevaría la implementación de este proyecto.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Revolución Industrial

La revolución industrial fue una revolución tecnológica que buscó nuevos métodos productivos y creó nuevos niveles de bienestar para el hombre. Consistió primordialmente en la mecanización de la industria y la agricultura, desarrollando un sistema fabril, la aceleración del transporte, la distinción de las clases sociales y el aumento del control capitalista sobre la economía. A fines del siglo XVIII, aparece la inversión de la maquina a vapor, que luego es perfeccionada destacando otros inventos como el barco a vapor y la locomotora.

En la segunda mitad del siglo XIX se desarrollaría una segunda etapa de esta revolución industrial, que dio al maquinismo un impulso abrumante con la creación de tres nuevos inventos, uno de ellos fue los motores de combustión interna, que darían paso al desarrollo de la industria del automóvil principalmente y además de la utilización del petróleo como principal combustible.

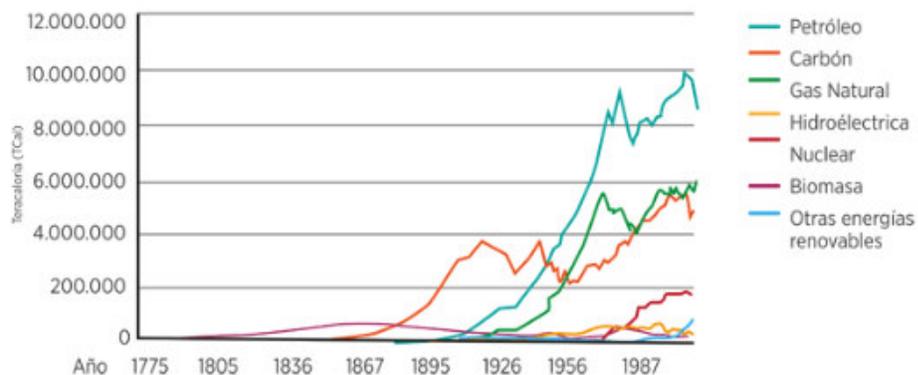


Figura 2: Consumo de energía por fuente en el mundo

Fuente: (Ministerio de Energía, 2013)

Se puede observar que el carbón se ha mantenido como combustible para diferentes actividades (en industria, electricidad, etc.), aunque a mediados del siglo XX esta fuente fue superada drásticamente por el petróleo y el gas natural.

La quema de estos combustibles comenzó a liberar a la atmósfera miles de toneladas de dióxido de carbono por lo que, acompañando a la revolución industrial, también nació, aunque más tímidamente lo que denominamos cambio climático.

Según un estudio internacional publicado por la revista científica “Nature”, en el cual recoge el análisis de distintos modelos de evolución del clima a lo largo de miles de años. Muestra que el calentamiento de la tierra guarda relación desde el principio con el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero consecuencia de la revolución industrial.

Los investigadores principales, la profesora asociada Nerilie Abram de la Universidad Nacional de Australia (ANU), junto con el paleontólogo de la Universidad Libre de Berlín y coautor del estudio Jean Zinke, coincide que “los primeros pasos de la revolución industrial en Europa Occidental, comenzó a percibirse un aumento de las temperaturas en el ártico y en las zonas tropicales de los océanos y posteriormente en Europa, Asia y Norteamérica. Cincuenta años más tarde comenzó a ser evidente en el inicio del cambio climático en gran parte del hemisferio sur, según el equipo científico, que achaca estas diferencias temporales a las corrientes marítimas”.^{4 5}

⁴ (La información, 2016)

⁵ (Abram, y otros, 2016)

3.2 Gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero (GEI) son aquellos presentes en la atmósfera que contribuyen al efecto invernadero. Se entiende como efecto invernadero, el proceso por el que la radiación térmica emitida es absorbida por los gases presentes en la atmósfera y luego irradiada en todas direcciones. Lo que busca este proceso, es mantener una temperatura óptima en la superficie que permite la vida en el planeta. Estos gases se originan de procesos o actividades naturales y antropogénicas. (ver Figura 3a.)

Las emisiones constantes de estos gases provocan un mayor calentamiento de la superficie terrestre, ya que absorben mayor radiación de la que posteriormente es devuelta a la superficie de la tierra. (ver Figura 3b.) El efecto de estos gases en el cambio climático depende de tres factores principales: la cantidad o concentración de los mismos en la atmósfera, el tiempo que permanecen en ella y nivel de impacto en la temperatura global. (ver Tabla 1.)

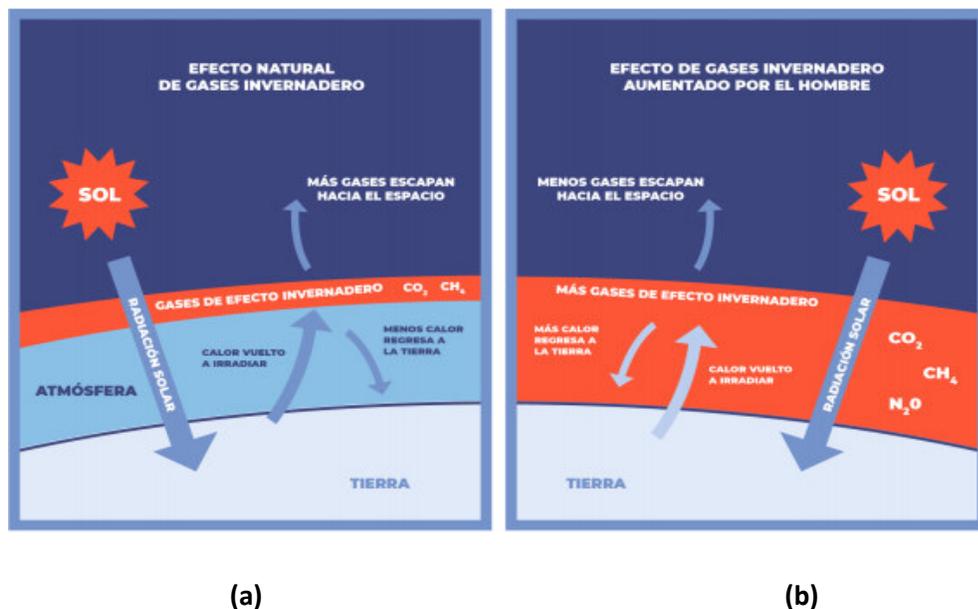


Figura 3: Esquema representativo del efecto invernadero

Fuente:(Subsecretaría de energía renovable & Secretaría de estado de la energía, 2019)

Como se puede observar que ciertos gases en la atmosfera bloquean el calor y no permiten que escapen. Los gases de larga vida que se quedan de manera semipermeables en la atmosfera y no responden física o químicamente a los cambios en la temperatura se describen como “forzados” (representados en la Figura 3b). En cambio, gases como por ejemplo el vapor de agua, que responde físicamente o químicamente a los cambios en la temperatura, son considerados “retroalimentadores” (representados en la Figura 3a.). Los gases que contribuyen al efecto invernadero a causa de actividades humanas son:

Tabla 1: Gases de efecto invernadero producidos por la actividad humana.

Gases de efecto invernadero (GEI)	Fuente Emisora	Permanencia en la atmósfera	Contribución Calentamiento Global
Dióxido de Carbono (CO₂)	Se libera a través de procesos naturales como la respiración, así también provenientes de actividades industriales como la deforestación, quema de combustibles, utilización de maquinaria o transporte, etc.	Larga: Es un componente poco abundante pero muy importante en la atmosfera. El 80% perdura hasta 200 años, mientras el 20% restante hasta 30.000 años.	53%
Metano (CH₄)	Ganadería, agricultura, descomposición de desechos en los vertedero, tratamientos de aguas residuales, distribución de gas natural y petróleo, minería del carbón, empleo de combustibles.	Media: Permanecen hasta 12 años.	15%
Compuestos Halógenos	Generado por la producción química para diversos	Variable: Desde meses hasta decenas de miles	11%

(CFC , HCFC, HFC, PFC, SP ₆ , NF ₃)	sectores (refrigeración y climatización, eléctrico y electrónico, medico, metalúrgico).	de años.	
Ozono troposférico (O₃)	A causa de la reacción entre los gases CO, HC, NO _x , COV emitidos en el empleo de combustibles.	Corta	11%
Óxido Nitroso (N₂O)	Uso de fertilizantes orgánicos y sintéticos, producción química, tratamiento de aguas residuales.	Larga: Permanencia de hasta 114 años.	5%

Fuente: Acciona, Elaboración Propia

Apoyando a la información entregada anteriormente, donde muestra la contribución que hacen los gases de efecto invernadero al planeta y el tiempo que permanecen en la atmosfera, se debe considerar la cantidad de emisiones a nivel mundial de cada uno de estos gases a causa de las actividades antropogénicas. (Ver Figura 4)

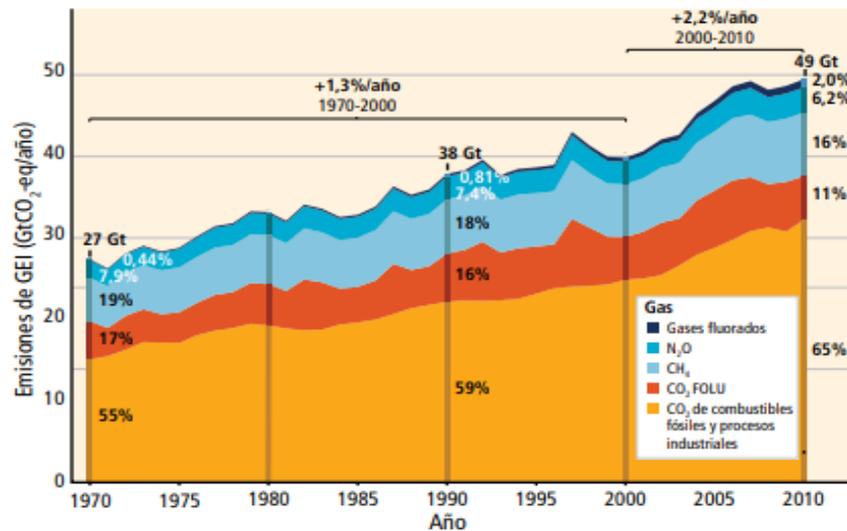


Figura 4: Emisiones antropogénicas anuales totales de GEI por gases, 1970 – 2010

Fuente:(Pachauri et al., 2014)

Las emisiones de GEI a causa de factores antropogénicos como se puede observar que se han incrementado desde 1970 a 2010, donde el mayor incremento se puede observar entre 2000 y 2010, a pesar del crecimiento de numerosas políticas de mitigación de protocolos y acuerdos que se han realizado de parte de las distintas Conferencia de las Partes (COP). El conjunto de los distintos GEI de carácter antropogénicos en 2010 alcanzaron un crecimiento de 49 gigatonnes de CO₂ equivalentes al año (GtCO₂ –eq/año) que proceden principalmente de actividades como la quema de combustibles fósiles y procesos industriales que contribuyeron en un 78% del crecimiento de los gases desde la fecha de 1970 hasta 2010. No se debe descartar que estas cifras pueden ir aumentando en los años siguientes debido que en la última década las emisiones aumentaron a un ritmo del 1,5% anual y solo se mantuvo estable brevemente entre 2014 y 2016. Las emisiones totales de GEI en 2018 alcanzaron una cifra sin precedentes de 55,3 GtCO₂e.⁶

De acuerdo a la 16^a Conferencia de las Partes (COP 16) de la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC), la cual se realizó en Cancún el 2010 contando con la participando 194 países. Busco la finalidad de establecer a futuro programas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que limite el incremento promedio de la temperatura de la superficie de la tierra por debajo de los 2°C respecto a los niveles pre-industriales. Dentro de este gran conglomerado de participantes existe miembros que a su vez son también partícipes del denominado G20, países que componen el grupo más poderosos a nivel de desarrollo económico, abarcando gran potencial a nivel industrial y que los lleva a generar gran cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero. (Ver Figura 5)

⁶ (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2019)

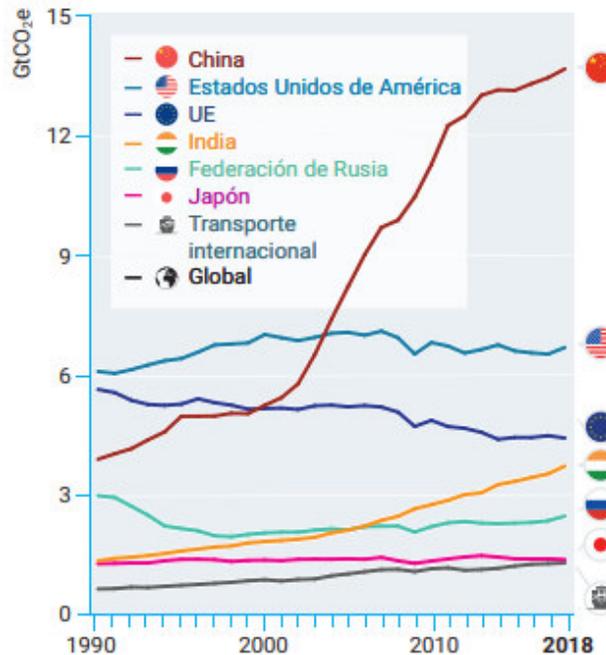


Figura 5: Principales emisiones de GEI, excluido el uso de suelo.

Fuente:(Organización de las Naciones Unidas, 2019)

Muchos de los países que componen este grupo, en su conjunto van bien encaminados en cumplir los acuerdos de Cancún, pero existen 6 que se encuentran en una situación grave de no lograr estos acuerdos. Los miembros del G20 están detrás de casi el 75% de las emisiones de GEI a escala mundial, estos determinan en buena medida los patrones globales de emisiones. Como se observa, las potencias expuestas no superan los 6 Gigatonnes de CO₂, caso totalmente diferente con respecto a Estados Unidos y China, tiene cifras claramente superiores al resto como son 7 y 14 Gigatonnes de emisiones de CO₂.

Este aumento de emisiones principalmente generadas por estos países nos lleva a tener importantes consecuencias en nuestro planeta, como lo es el aumento del nivel y temperatura del mar y retroceso considerable de los mantos de hielos en los polos.

3.3 Temperatura Global

En la figura siguiente, se observa la comparación de los cambios de temperatura de la superficie del planeta y la energía que irradia el sol en la unidad de vatios por metro cuadrado desde 1880. Las líneas más delgada punteada muestra los niveles anuales y las líneas más gruesas muestra la tendencia promedio de 11 años.

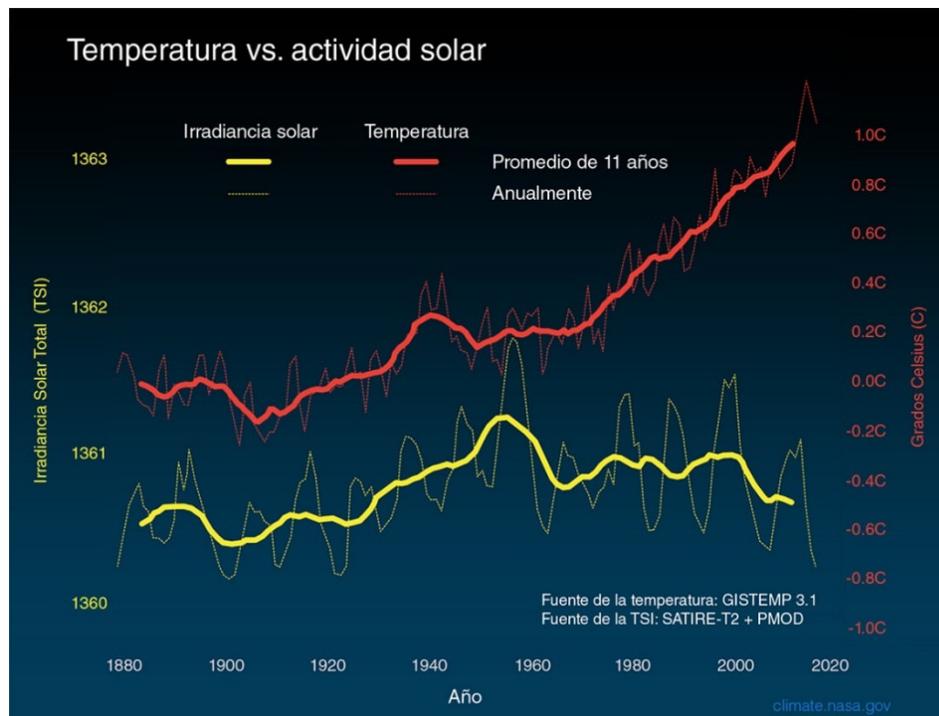


Figura 6: Temperatura v/s Actividad Solar

Fuente: (Global Climate Change, 2020)

El promedio de la cantidad de energía solar ha mostrado pequeños ascensos y descensos, sin presentar un incremento considerable desde 1950. En cambio, durante el mismo periodo antes mencionado la temperatura global ha aumentado considerablemente en un $0,6^{\circ}\text{C}$, por lo que se hace imposible que el sol haya causado el calentamiento global observado durante los últimos siglos.

Según estudios y análisis de la NASA y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), ha dado cuenta de variación de temperatura de la tierra y océano durante 140 años.

La temperatura global en el año 2019 fue de 0,95°C, la segunda más alta superada solo por el año 2016 con una diferencia de 0,04°C y solo 0,02°C mayor al tercer periodo más alto correspondiente al año 2015. Todos los periodos de mayor registro de la temperatura corresponden del año 2005 en adelante. En la siguiente tabla, enumera los periodos más cálidos entre 1880 y 2019 combinando las temperaturas promedias anuales de la tierra y el océano y su anomalía (variación). (Ver Tabla 2 y 3.)

Tabla 2: Diez años más cálidos (1880-2019)

Rango 1 = Período más cálido de registro (1880 – 2019)	Año	Anomalía °C
1	2016	0,99
2	2019	0,95
3	2015	0,93
4	2017	0,91
5	2018	0,83
6	2014	0,74
7	2010	0,72
8	2005	0,67
9	2013	0,67
10	1998	0,65

Fuente:(National Centers For Environmental Information, 2019)

De igual manera, por los análisis antes mencionados, en la siguiente tabla se observa como la temperatura global durante de los periodos en estudio presentan cambios de forma transversal en el planeta.

Tabla 3: Temperatura Promedio Anual

Periodo Enero - Diciembre	Anomalía (°C)	Rango (de 140 años)	Registros	
			Año	°C
Tierra	+1,42 ± 0,14	Más cálido	2016	+1,54
		Más frío	1884	-0,72
Océano	+0,77± 0,16	Más cálido	2016	+0,79
		Más frío	1904	- 0,83

Fuente: (National Centers For Environmental Information, 2019)

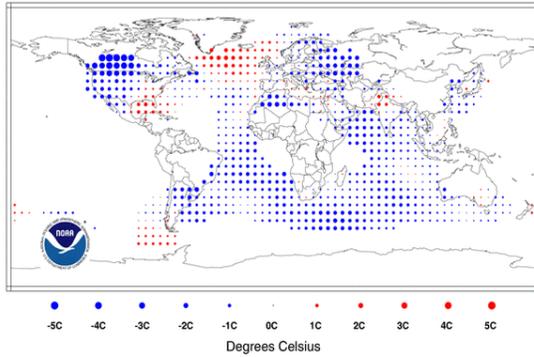
Se puede observar mediante la tabla, el comportamiento que tiene el planeta de forma independiente (Tierra y Océano), las cuales presentan distintas cifras de variaciones de temperatura durante el periodo anual. En la actualidad, los estudios mencionados anteriormente muestran que esta anomalía en la temperatura presenta una tendencia al aumento más que al descenso, ya que los periodos más cálidos son a partir del siglo XX y los rangos más fríos para ambos casos son de alrededor del siglo XIX.

Para apoyar la información entregada por las tablas, por medio del programa y estudio de Mapas Globales de Temperatura y Precipitación de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), se puede observar algunos de los años en estudio la evolución de la temperatura en las superficies expuestas como lo son la Tierra y el Océano.

Temperature Anomalies Jan-Dec 1880

(with respect to a 1971-2000 base period)

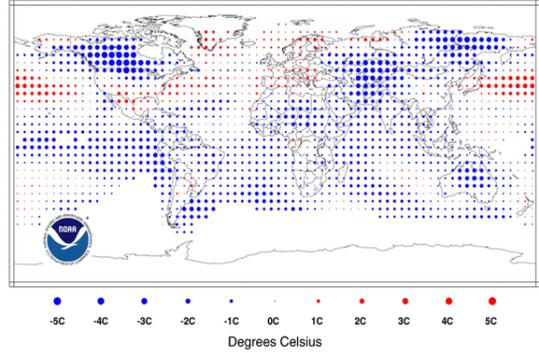
National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA



Temperature Anomalies Jan-Dec 1950

(with respect to a 1971-2000 base period)

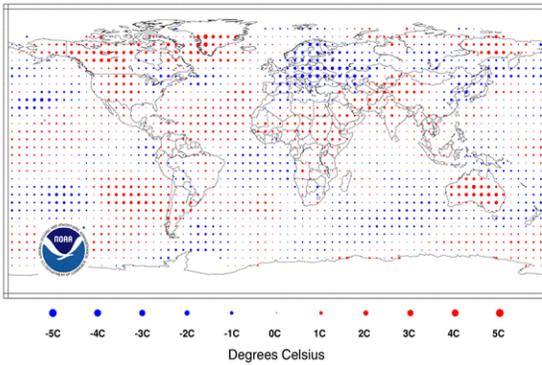
National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA



Temperature Anomalies December 1980

(with respect to a 1961-1990 base period)

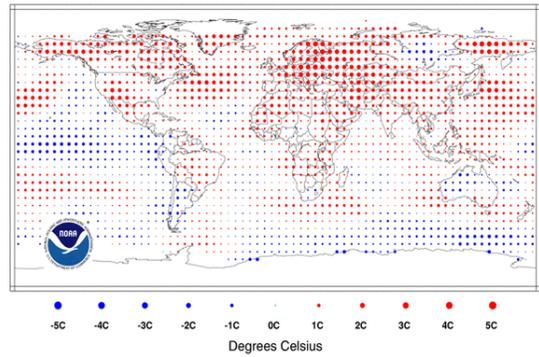
National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA



Temperature Anomalies December 2000

(with respect to a 1961-1990 base period)

National Climatic Data Center/NESDIS/NOAA



Land & Ocean Temperature Departure from Average Jan-Dec 2019

(with respect to a 1981-2010 base period)

Data Source: NOAA GlobalTemp v5.0.0-20200108

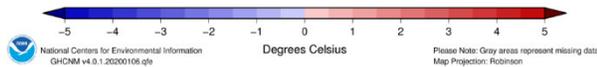
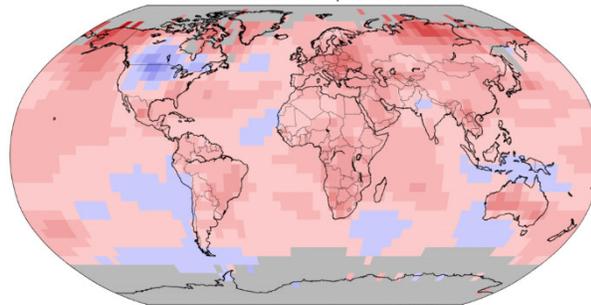


Figura 7: Modelo de Mapas Globales Anuales de Temperatura

Fuente:(National Centers For Environmental Information (NCEI), 2010)

Por otra parte, el contenido de calor del océano es esencial para comprender y modelar el clima global por el cual se está cursando actualmente, ya que el 90% del exceso de calor que se contiene dentro del planeta a causa de los GEI es absorbido por el océano, esto se debe también debido a las propiedades del agua como es su capacidad calorífica. Además, la expansión debido al aumento del calor del océano contribuye al aumento del nivel del mar y los deshielos de las zonas polares.

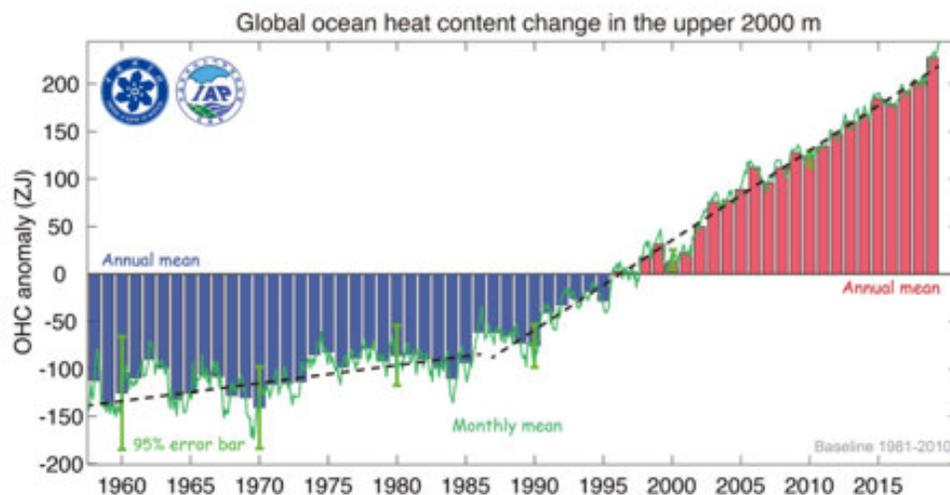


Figura 8: Cambio global del contenido de calor del océano en los 2000 m superiores

Fuente: (Cheng et al., 2020)

El contenido de calor del océano para los 2000 m superiores, para 2019 fue más alto en el registro de 70 años en 228 ZettaJoule (1 ZJ = 10^{21} Joule), superando al año 2018, el cual registró un valor de 204 ZJ. De igual forma, los registros de contenido de calor del océano se han producido casi de forma consecutiva a partir del año 1995 pero presentando sus mayores registros desde el 2015.

Los valores de contenido de calor del océano para los 2.000 m superiores se obtuvieron a partir del análisis oceánico del Instituto de Física Atmosférica (IAP), que utiliza un método relativamente nuevo para tratar la escasez de datos y las actualizaciones en los instrumentos que se han utilizado para medir la temperatura del océano.⁷

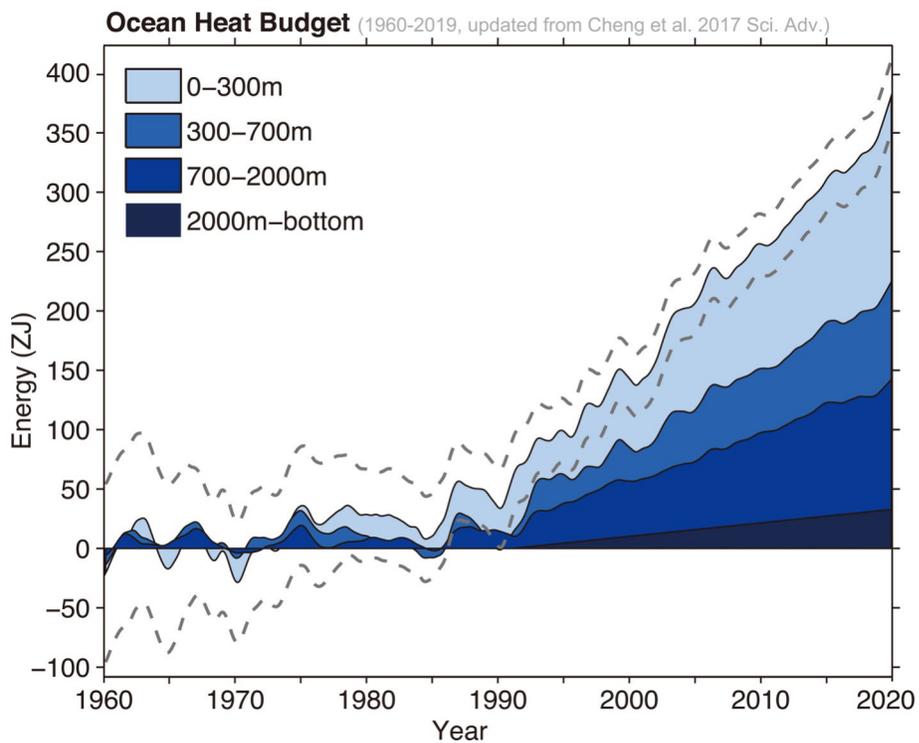


Figura 9: Presupuesto de calor oceánico

Fuente:(Cheng et al., 2020)

Como se puede observar a partir de la figura 9, se diferencian los niveles de profundidad del océano, donde cada uno de ellos absorbe una cierta cantidad de calor. A medida que la profundidad aumenta, el nivel de energía es mayor, siendo la primera capa la más afectada, ya que esta es la que absorbe gran cantidad de energía llegando a los 375 ZJ, es de tener consideración que la captación de calor llega hasta lo más profundo del océano teniendo un

⁷ (CHENG, y otros, 2020)

contenido de 45 ZJ más bajo que las capas anteriores. No deja de ser insignificante el contenido de calor en cada una de ellas debido a que en nuestro océano se presenta una gran gama de vida acuática, tanto de flora y fauna que a causa de lo antes mencionado sean afectados.

Durante todos los años de estudio del comportamiento del océano, se ha visto como la temperatura se distribuye por los continentes y por todos los rincones. Esto se puede ver reflejado en las siguientes figuras que muestran el aumento de la energía térmica del océano.

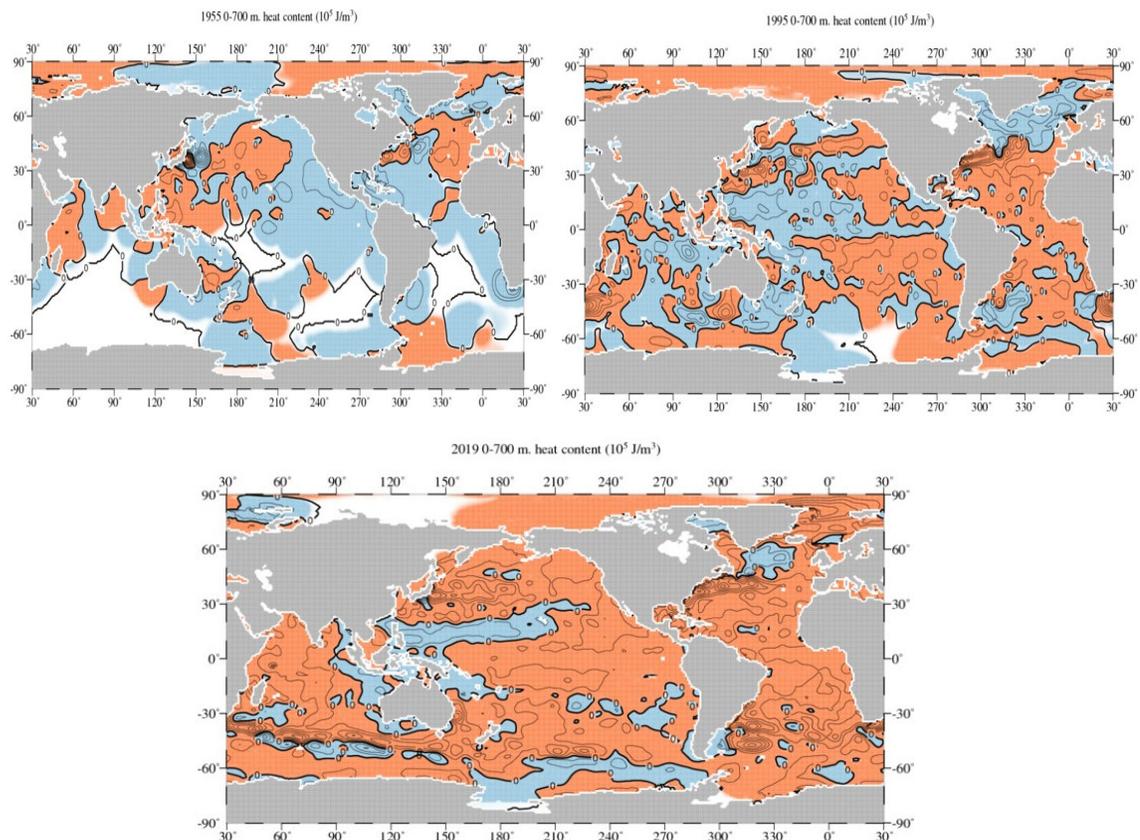


Figura 10: Mapa de comportamiento anual de contenido de calor y profundidad de 0 – 700 m

Fuente: (National Centers for Environmental Information (NCEI), n.d.)

3.4 Escasez Hídrica en el Mundo

El abastecimiento de agua potable es fundamental para la vida como también para actividades como lo es la salud, la industria y la agricultura. Según los datos obtenidos por la World Resources Institute (WRI), casi un tercio de la población, esto quiere decir 2.600 millones de personas viven en países en situación de estrés hídrico en un nivel extremadamente alto, incluyendo 1.700 millones de personas en diecisiete naciones con escasez extremada de agua.

Los países más afectados por la escasez de agua se encuentran en Medio Oriente y El Norte de África. De estos sectores sobresalen 14 de 33 países que tienen más probabilidades de enfrentarse a recortes en el suministro de agua. Entre ellos, los nueve países con fuerte escasez hídrica son: Kuwait, Bahrein, Emiratos Árabes Unidos, Egipto, Qatar, Palestina, Arabia Saudí, Omán y el Líbano.

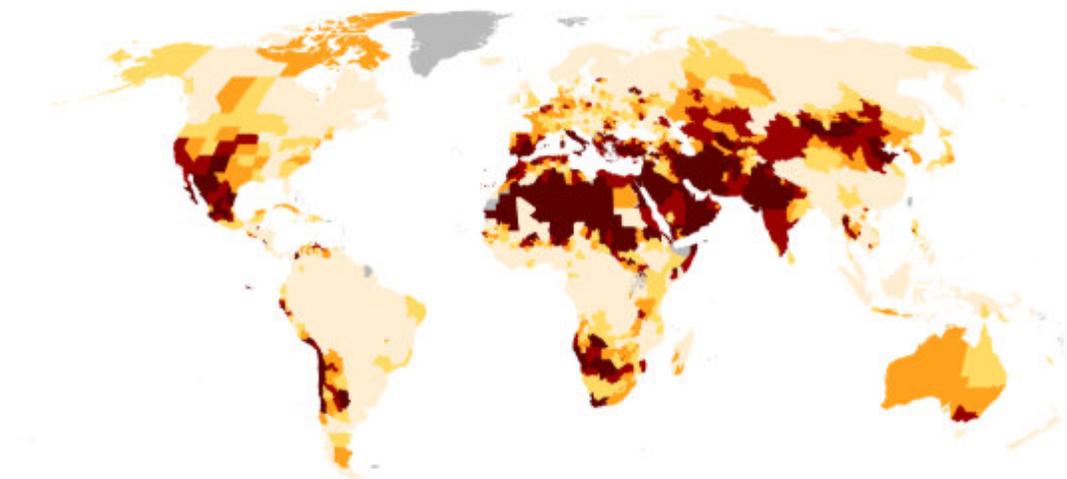


Figura 11: Parámetros global de estrés hídrico por provincia o región

Fuente:(Uchoa, 2019)

A partir de la plataforma Aqueduct 3.0 de WRI, por medio de varios modelos hidrológicos analizó y calculó la cantidad de agua que es retirada de las reservas superficiales y subterráneas en las regiones en comparación con el total de agua disponible. Cuando la proporción de agua retirada excede el 80%, las áreas son consideradas con escasez hídrica extrema.

Entre 1961 y 2014, la tasa global de retirada de agua, o la cantidad de agua dulce extraída de fuentes subterráneas y superficiales, aumentó 2,5 veces. La demanda de agua para irrigar cultivos aumento más del 100% en el último medio siglo, según el WRI. Cerca del 70% del agua consumida anualmente a nivel global es para irrigación.⁸

La industria consumió en 2014 tres veces más agua que en 1961(21% del total de retiradas brutas).

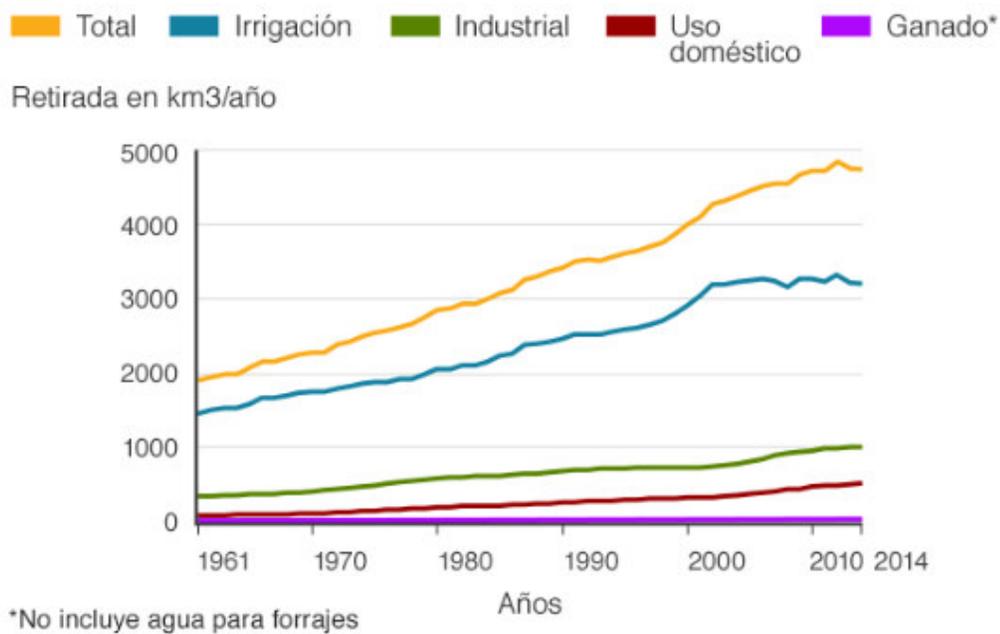


Figura 12: Retiradas globales de agua

Fuente:(Uchoa, 2019)

⁸ (Uchoa, 2019)

La retirada de agua aumentó más de seis veces en relación a 1961 y representa actualmente el 10% del total.

3.4.1 Países con mayor riesgo de sufrir una crisis hídrica

Casi 1.800 millones de personas en diecisiete países, o una cuarta parte de la población mundial, parecen estar virando hacia una crisis del agua, con el potencial de una grave escasez en los próximos años.

Tabla 4: Ranking de países más afectados por la escasez hídrica

Rank	Country	Score	Risk Level
1	Qatar	4.97	Extremely High
2	Israel	4.82	Extremely High
3	Lebanon	4.82	Extremely High
4	Iran	4.57	Extremely High
5	Jordan	4.56	Extremely High
6	Libya	4.55	Extremely High
7	Kuwait	4.43	Extremely High
8	Saudi Arabia	4.35	Extremely High
9	Eritrea	4.33	Extremely High
10	United Arab Emirates	4.26	Extremely High
11	San Marino	4.14	Extremely High
12	Bahrain	4.13	Extremely High
13	India	4.12	Extremely High
14	Pakistan	4.05	Extremely High
15	Turkmenistan	4.04	Extremely High
16	Oman	4.04	Extremely High
17	Botswana	4.02	Extremely High
18	Chile	3.98	High
19	Cyprus	3.97	High

Fuente:(Bloomberg, 2019)

Con la imagen presentada anteriormente se logra apreciar que Qatar es el país que se ha visto más afectado con la escasez de agua, encontrándose así en una situación extremadamente grave.

El país de India, el cual está en el puesto número 13 en la lista de países con mayor riesgo hídrico que se presentó anteriormente, cuenta con una población tres veces mayor que la de los otros 16 países en esta categoría de extremo.

Como bien se aprecia, Qatar, Israel y el Líbano, tienen los tres primeros lugares del ranking. Chile se encuentra en el lugar de 18, clasificado con un alto riesgo de comenzar una crisis hídrica.

3.4.2 ¿Qué consecuencias tiene la escasez de agua en el mundo?

La escasez de agua en el mundo es un problema que puede aumentar y que produce consecuencias graves como las siguientes:

- **Enfermedades:** La escasez de agua y la falta de métodos de potabilización de calidad, obliga a recurrir a fuentes de agua contaminadas que pueden provocar enfermedades. En base a los datos de la Organización Mundial de la Salud, se puede afirmar que el agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera o la poliomielitis. La contaminación del agua produce más de 502.000 muertes por diarrea al año. Además, la falta de agua, puede producir deshidratación y generar ulteriores complicaciones.⁹
- **Hambre:** Con la escasez de agua se puede ver afectada la agricultura, la ganadería y la industria, y como consecuencia se produce escasez de alimentos y hambre.

⁹ (ACNUR Comité Español, 2019)

- **Desaparición de especies vegetales:** La desaparición de plantas será causada principalmente por la escasez de agua, ya que estas necesitan una gran cantidad de esta para desarrollarse. Lo mismo sucede con las especies animales, ya que al igual que el ser humano necesita del consumo de agua para poder sobrevivir.
- **Conflictos:** La escasez de recursos está en el origen de numerosos conflictos en el mundo y supone el desplazamiento de las personas a otros países para encontrar lugares seguros en los que vivir. Entre enero y abril del año 2000 tuvo lugar en Bolivia la ya conocida como la guerra del agua. La privatización del servicio de agua potable municipal derivó en un conflicto social que se saldó con seis personas muertas y 175 heridas.¹⁰

3.5 Escasez Hídrica en Chile

Chile es un país privilegiado en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos de superficie, además, según la Estrategia Nacional de Glaciares, Chile cuenta con una de las mayores y más diversas glaciares a nivel mundial, representando el 3,8% del área total del planeta, excluyendo Antártica y Groenlandia.¹¹

¹⁰ (García Cabezas, 2020)

¹¹(Fundación Chile, 2018)

No obstante, la oferta de agua superficial y subterránea no está distribuida de forma equitativa en el territorio, encontrándose zonas de gran abundancia en la zona sur y otras de escasa en las regiones del norte, rangos que varían entre 0,01 m³/s en algunas cuencas del norte y 3.480 m³/s en cuencas de la zona austral.¹² Esto se debe a las condiciones heterogéneas de carácter físicas y climáticas como se aprecia en la figura 14.

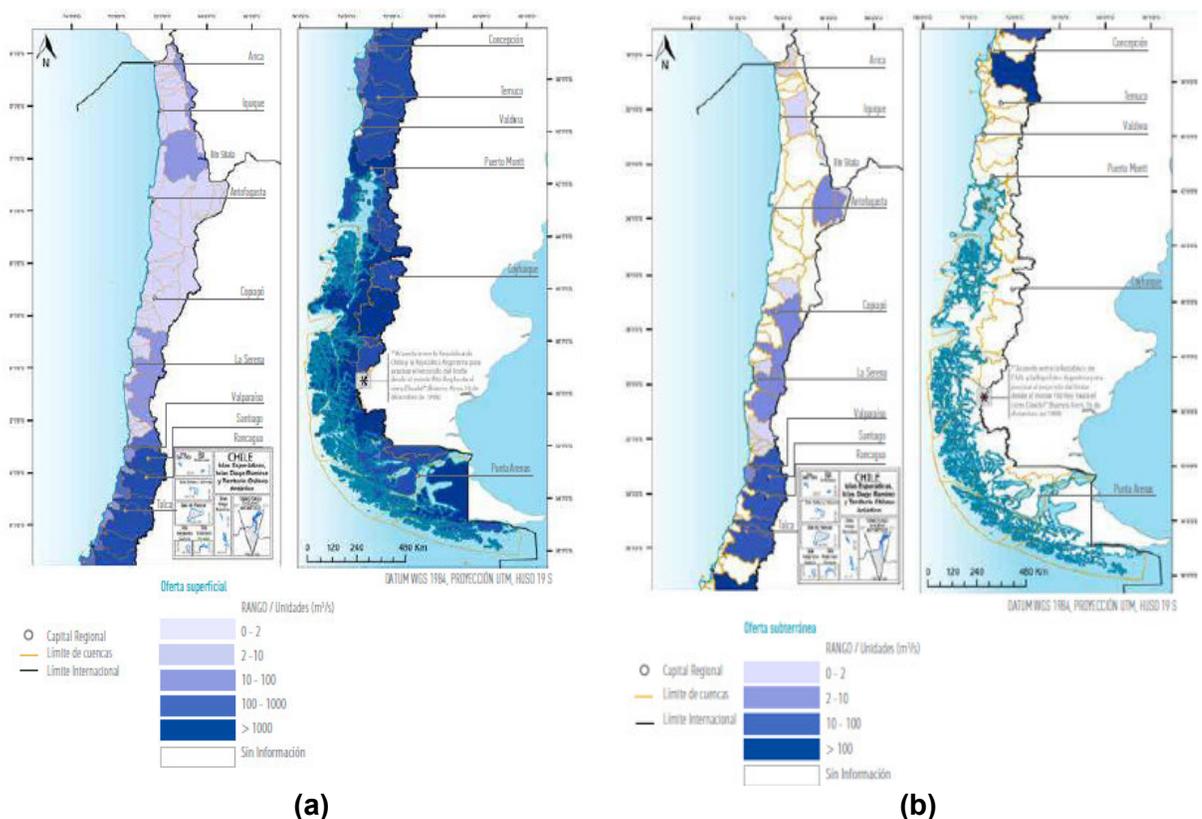


Figura 13: Oferta referencial de agua superficial (a) y subterránea (b)

Fuente:(Fundación Chile, 2018)

Además, según el estudio realizado por Radiografía del agua sobre el uso total de agua a nivel nacional, observó que un 88% del agua captada desde fuentes superficiales y subterráneas regresa al sistema natural de diferentes formas

¹² (Fundación Chile, 2018)

físicas para ser utilizada “aguas abajo”.¹³ A continuación, se logra apreciar el comportamiento de la captación y devolución de agua por región.

Tabla 5: Demanda de agua por captación y devolución por región

Región	Captación (m³/s)	Devolución (m³/s)
Arica y Parinacota	4,29	1,92
Tarapacá	3,06	1,14
Antofagasta	7,47	1,75
Atacama	8,55	3,33
Coquimbo	36,68	14,72
Valparaíso	45,28	19,32
Metropolitana	102,63	68,52
Libertador Gral. Bernardo O’Higgins	168,54	122,15
Maule	549,10	567,52
Biobío	579,87	567,52
La Araucanía	265,31	261,81
Los Ríos	2,32	1,97
Los Lagos	51,17	50,03
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	0,66	0,51
Magallanes y la Antártica Chilena	0,78	0,24
Total País	1825,71	1613,98

Fuente: (Fundación Chile, 2018)

Asimismo, otro factor a considerar a la hora de hablar de la recuperación que existe del agua son las distintas actividades industriales que utilizan agua para su producción y la devolución que realizan estas.

¹³ (Fundación Chile, 2018)

Tabla 6: Captación y devolución de agua por actividad

Uso	Captación (m³/s)	Devolución (m³/s)
Agrícola (riego)	404,53	217,69
Minero	101,16	2,02
Agua potable y saneamiento	55,29	41,98
Industrial	12,93	11,74
Energía	1339,62	1338,29
Pecuario	3,19	2,27

Fuente: (Fundación Chile, 2018)

Es importante considerar que la explotación del recurso, por parte de cada actividad tiene como consecuencia el cambio de la calidad de agua ofrecida, además de modificar la dinámica del flujo del agua que es devuelta a su efluente original.

Es por estas razones, que la relación que existe entre la oferta y la demanda hídrica disponible en distintas fuentes naturales de abastecimiento, se han abordado y estudiado a nivel internacional por el Índice de Escasez Hídrica o más conocido como Brecha Hídrica, la cual se detalla por la siguiente ecuación.

$$\text{Índice de Escasez Hídrica} = \frac{\text{Consumo Hídrico}}{\text{Oferta Hídrica}} * 100\%$$

Para comprender los datos arrojados por la ecuación antes mencionada, variadas organizaciones de las Naciones Unidas en conjunto al Instituto de Estocolmo para el Medio Ambiente desarrollaron cuatro categorías de evaluación. (ver tabla 7)

Tabla 7: Categorías de evaluación del Índice de Escasez Hídrica

Índice Escasez Hídrica	Porcentaje Oferta Hídrica utilizada	Color	Explicación
ALTO	>40%	Red	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y demanda. En estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitante del desarrollo económico.
MEDIO	20 – 40%	Yellow	Cuando los límites de presión existen entre 20 y 40% de la oferta hídrica disponible es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es menester asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para su existencia. Se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos.
MODERADO	10 - 20%	Green	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo.
BAJO	<10%	Blue	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico.

Fuente: (Fundación Chile, 2018)

Esta tabla permite tener una visualización del comportamiento del recurso hídrico a lo largo del territorio, ya que como se mencionó anteriormente, Chile presenta una heterogeneidad en toda su extensión.

A partir de los análisis que se realizaron en el estudio de Brecha Hídrica por el Escenario Hídrico 2030, se determina que de un total de 101 cuencas hídricas existentes en el territorio nacional solo pudieron ser consideradas un 25% de ellas (ver figura 15), esto fue debido a la carencia de información con respecto a la oferta de agua subterráneas.

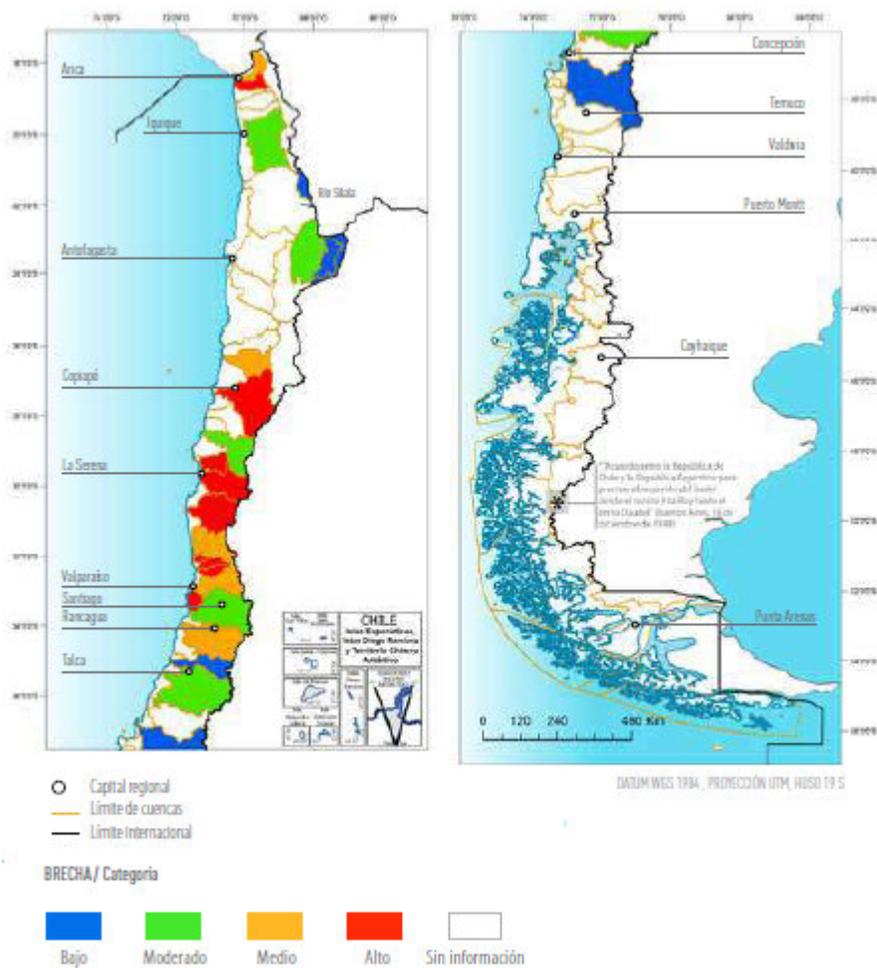


Figura 14: Brecha Hídrica en Chile

Fuente:(Fundación Chile, 2018)

Para apoyar la información entregada en el mapa anterior, en la figura 16 se puede observar el análisis entregado por el mapa de forma más minuciosa de cada cuenca en estudio.

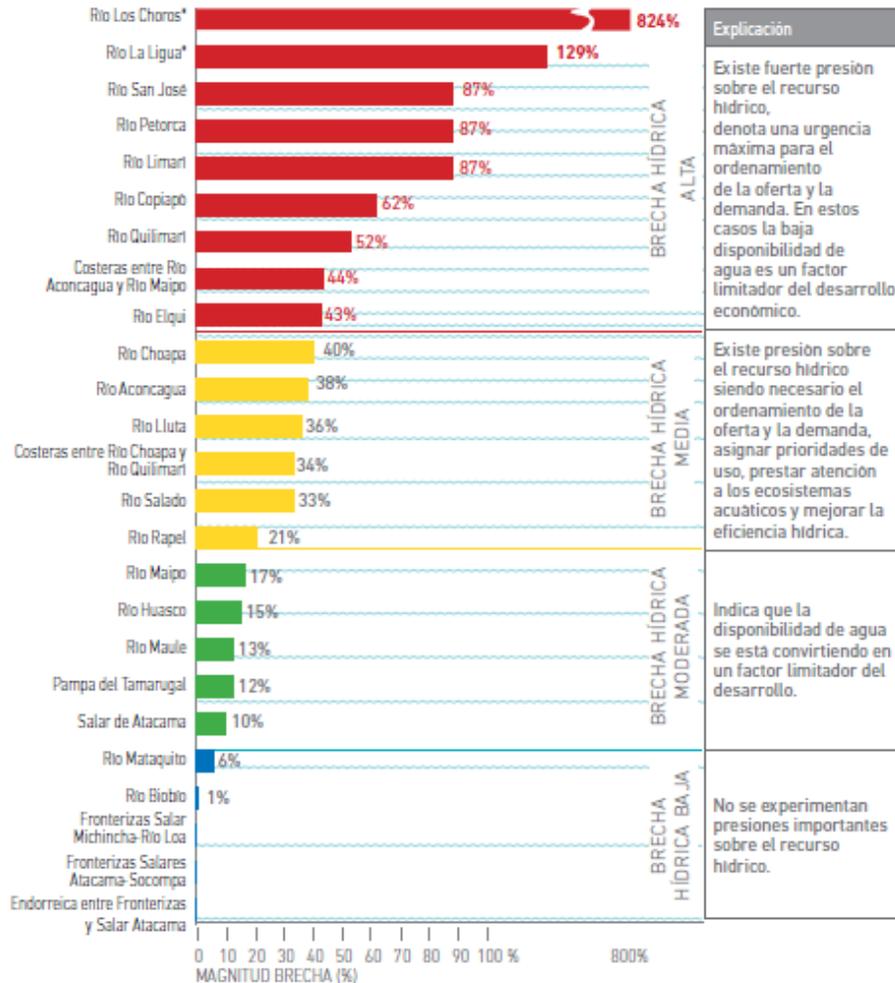


Figura 15: Brecha hídrica de cuencas analizadas

Fuente:(Fundación Chile, 2018)

A causa de un conglomerado de investigadores del Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia (CR2) realizaron el análisis de Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI) a lo largo del territorio. Este indicador corresponde al nivel de sequía meteorológica basándose en datos

climatológicos satelitales de la NASA, que permite hacer un balance hídrico entre la diferencia de datos de precipitación (P) y evapotranspiración potencial (ETP) de la cobertura vegetal del territorio en un tiempo determinado (I).

$$\text{SPEI Déficit Hídricos} = P_t - ETP_t$$

El estudio permite determinar la magnitud de los eventos de sequías acumuladas durante el periodo de análisis, con respecto a las condiciones normales en las cuencas de Chile identificando sus tendencias y anomalías en los pasados 15 años (2000–2014). Sobre la serie de datos temporales considerada para el análisis, se determinó la magnitud del SPEI, que es la suma ponderada de la intensidad de los eventos en los años antes mencionados. Esta magnitud fue calculada considerando tres umbrales, de acuerdo con la intensidad del evento. Los umbrales definidos son los que se muestran en la siguiente figura.



Figura 16: Umbrales de Sequía Meteorológicas según índice SPEI

Fuente:(Fundación Chile, 2018)

Se debe conocer que una sequía es la disminución de las precipitaciones en forma evidente y esta se prolonga en los años, siendo denominada sequía meteorológica, como consecuencia puede dar origen a una sequía hidrológica (disminución de los caudales de ríos y embalses) y por consiguiente también a una sequía agrícola (disminución de la humedad del suelo y las reservas de agua subterráneas).

Chile no está ajeno a esto, debido a que presenta una alta variabilidad en términos de precipitación. Un ejemplo de esto es la recopilación de datos de forma ininterrumpida que realiza la estación de Quinta Normal en Santiago desde fines del siglo XIX. (Ver figura 18)

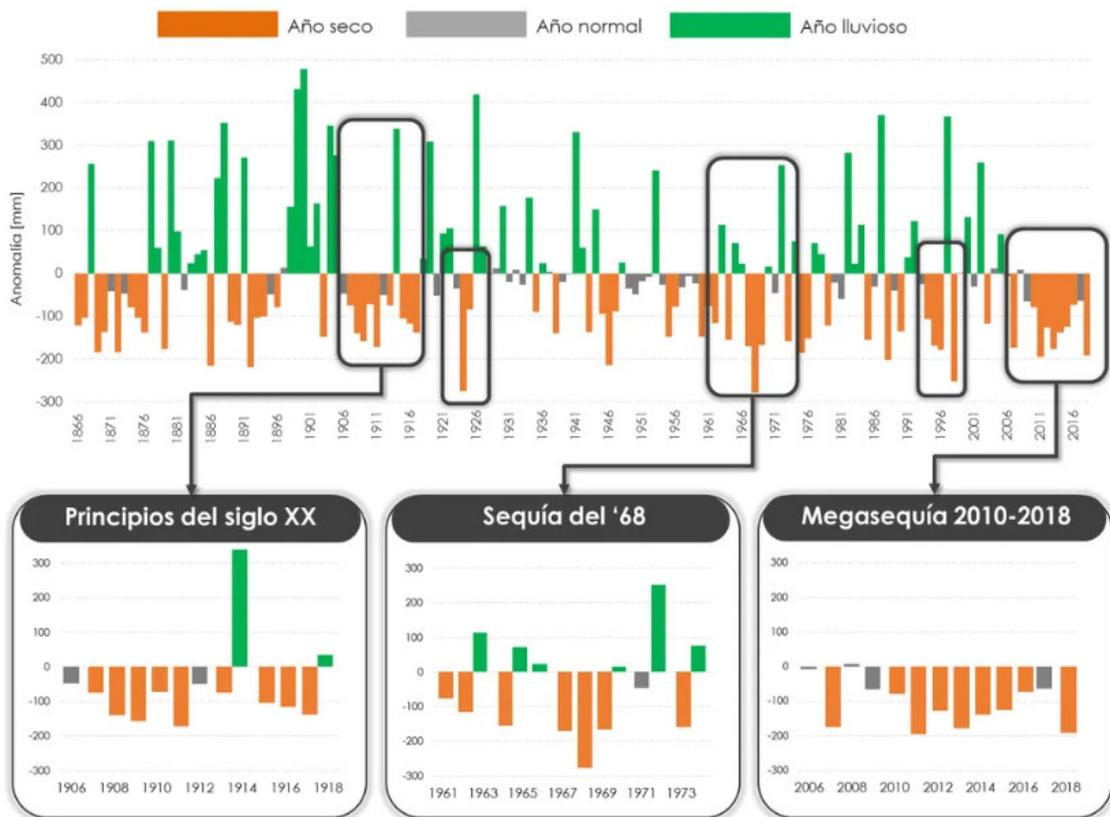


Figura 17: Anomalía de precipitaciones anuales en Santiago entre 1866 y 2018.

Fuente:(Cortes Catalina, 2018)

Durante varios periodos de toma de datos, se puede observar que existen anomalías con respecto a las precipitaciones. Sin embargo, el periodo de mayor preocupación es durante los periodos de 2010 a 2018, donde se presenta solo años secos, esto no quiere decir que no llueve, si no que el déficit de lluvia es predominante convirtiéndolo en un año seco.

En el mapa que se muestra en la figura 19 representa los datos del Índice SPEI con un degradado de colores que va dependiendo de sus valores, desde un color azul hasta el color rojo que considera valores iguales o mayores a cero hasta números negativos que indican una mayor sequía meteorológica por la diferencia entregada de la precipitación y evapotranspiración que analiza el estudio.

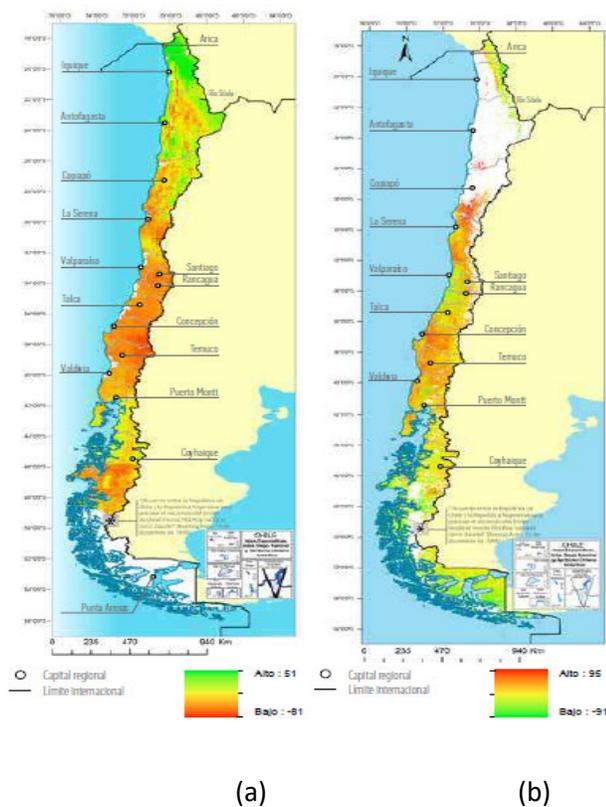


Figura 18: Mapa de Tendencia de precipitación (a) y Evapotranspiración (b) en Chile

Fuente:(Fundación Chile, 2018)

Para combatir esta escasez hídrica que se presenta a lo largo de los años en Chile, la tecnología han sido un gran aliado, creando distintas técnicas para poder recuperar el agua tratada por otras actividades o procesos, de esta forma aminorar la falta que hace de este recurso tan importante para la vida.

3.6 Alternativas para combatir la escasez hídrica

Hoy en día se han implementado diversos métodos y tecnologías para combatir la escasez hídrica, tanto a nivel nacional como mundial. A pesar de que todas tienen como fin el mismo objetivo, varían dependiendo de su eficiencia, costo, limitaciones, etc.

La siguiente tabla da a conocer los diferentes métodos existentes a nivel mundial para lidiar con esta problemática, dando a conocer sus cualidades, ya que para cada lugar o cantidad de agua a tratar se necesita un método con características específicas.

Tabla 8: Métodos de combate para la escasez hídrica

Filtración Convencional	Filtros de arena	Sedimentos suspendidos, remoción medida de bacterias y materia orgánica	Sencillo	Costo bajo de inversión en infraestructura y de manejo, costo elevado de terreno	Remoción de 80-90% de bacterias y 60% de materia orgánica, requiere gran superficie.
	Filtros de tierras de diatomáceas	Remoción de turbiedad y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión y de manejo	Útiles en caso de poca turbiedad y bajo conteos bacterianos, no retiene materia orgánica.
	Filtros de carbón activado	Remoción de materia orgánica y bacterias	Sencillo	Costo bajo de inversión, costo medio de mantenimiento	Generación de residuos, continua renovación del filtro, no remueve bacterias ni nitrato
Desinfección	Cloro	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo bajo de inversión y medio de mantenimiento	Generación de subproductos
	Cloramina	Desinfección	Sencillo con medidas adicionales de seguridad	Costo medio de inversión y de mantenimiento	Poder desinfectante limitado
	Ozono	Desinfección	Manejo complejo	Costo elevado de operación	Escaso poder residual
	Luz ultravioleta	Desinfección	Operación y mantenimiento sencillo	Costo medio de operación y de mantención	No previene recrecimiento, no genera poder residual
Filtros de Membrana	Microfiltración	Remoción de sólidos disueltos, algunas especies bacterianas	Operación sencilla	Costo moderado de inversión y operación	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
	Ultrafiltración	Remueve virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Costo elevado de operación e inversión	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
	Nanofiltración	Remueve virus, bacterias y materia orgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Costo muy elevado de operación e inversión	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana
	Osmosis Inversa	Remueve virus, bacterias, parásitos y materia orgánica e inorgánica	Manejo sencillo, posible automatización	Costo muy elevado de operación e inversión	Desperdicio de agua, descomposición de la membrana, requiere manejo de salmuera

Fuente: Elaboración Propia

3.7 Situación global de la desalinización

Los primeros antecedentes sobre cómo desalar agua de mar provienen de la antigüedad, para ser más exactos de los años de Aristóteles, el cual observando la naturaleza dedujo el método que consta en evaporar agua de mar y luego condensar el vapor, logrando así obtener agua dulce en estado líquido. En el siglo XVI, los árabes proponen otra alternativa de desalación, la cual es por destilación. Siguiendo la investigación, en el siglo XVII, Sir Francis Bacon comienza a experimentar la desalinización por filtración, en el siglo XVIII se reconoce el método de Osmosis a través de membranas naturales, el cual se comienza a aplicar en el siglo XIX. La primera planta desalinizadora que operó en el continente americano, fue en el año 1861, en Florida, USA; la cual utilizaba el método de evaporación de efecto múltiple. Ya en el siglo XX, aproximadamente en los años 70 se comienza a implementar el método de Osmosis Inversa, desarrollado por investigadores de Estados Unidos y Japón.

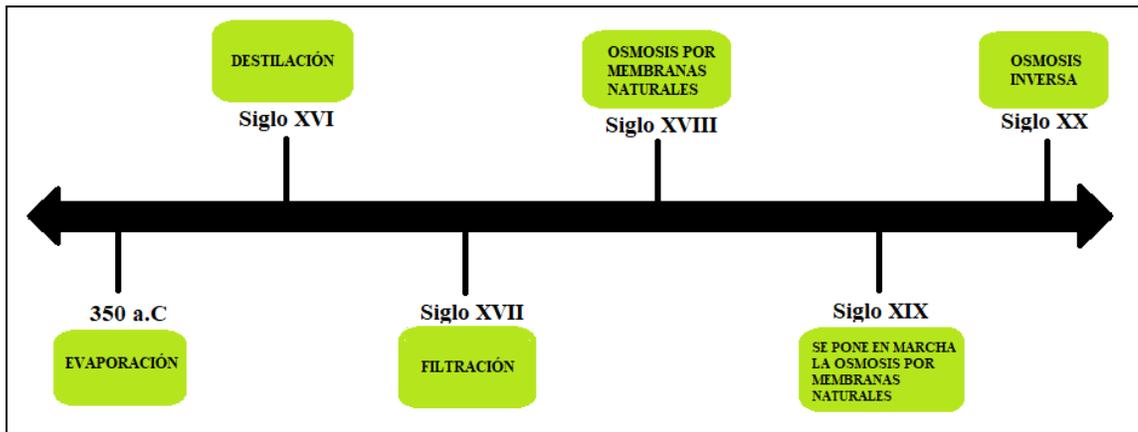


Figura 19: Línea de tiempo “Descubrimiento de los métodos de desalinización”

Fuente: Elaboración Propia

En la actualidad unos 260 millones de personas consumen agua¹⁴ procedente de una planta de desalinización en el mundo. Sin embargo, este número irá en aumento debido al previsible crecimiento de la población mundial y la no menos previsible falta de agua potable.

Hoy en día el principal problema de este tipo de producción de agua es el alto coste económico, debido fundamentalmente a la gran cantidad de energía que se necesita para llevarlo a cabo. Pese a, que a medida que la tecnología avanza, el consumo disminuirá.

Las primeras instalaciones desalinizadoras construidas en los años 70 eran de tipo térmico con evaporadores de etapa flash múltiples (MSF) o de destilación de efecto múltiple (MED), con unos consumos superiores a 40 Kwh/m³.

En los años 80 surgieron las plantas desalinizadoras de compresión de vapor, con consumos de 15 Kwh/m³. Y también las primeras plantas de osmosis inversa, con un consumo de 10 Kwh/m³. Actualmente el campo de la osmosis inversa se ha visto ampliamente mejorado con pequeñas innovaciones tecnológicas en los sistemas de recuperación de energía, disminuyendo el consumo hasta los 3 Kwh/m³.

Mediante una investigación realizada por diferentes instituciones y universidades de diversos países (Japón, Canadá, Países Bajos y Corea del Sur), obtuvieron una revisión de las bases de datos actuales de plantas desalinizadoras a nivel mundial, este estudio fue publicado en la revista Science of the Total Environment.

¹⁴ (Montava, 2016)

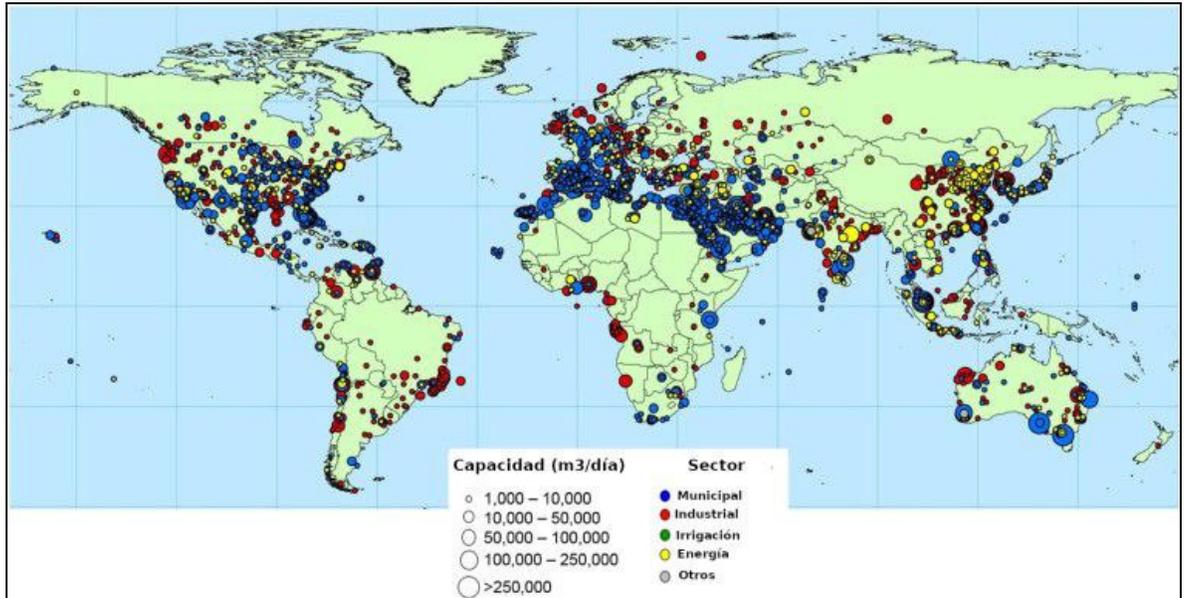


Figura 20: Distribución global de instalaciones desaladoras y sus capacidades

Fuente:(Estudio Advierte Sobre Niveles Crecientes de Salmuera Tóxica Por Plantas Desalinizadoras a Nivel Mundial, 2019)

El estudio mencionado anteriormente indica que son 177 países que cuentan con plantas desalinizadoras, llegando así a un total de 15.906 a nivel mundial. Dichas plantas son capaces de producir aproximadamente 95 millones de m³ de agua potable para el uso humano, de las cuales un 48% es producida en el Medio Oriente y en el norte de África. (Ver figura 21)

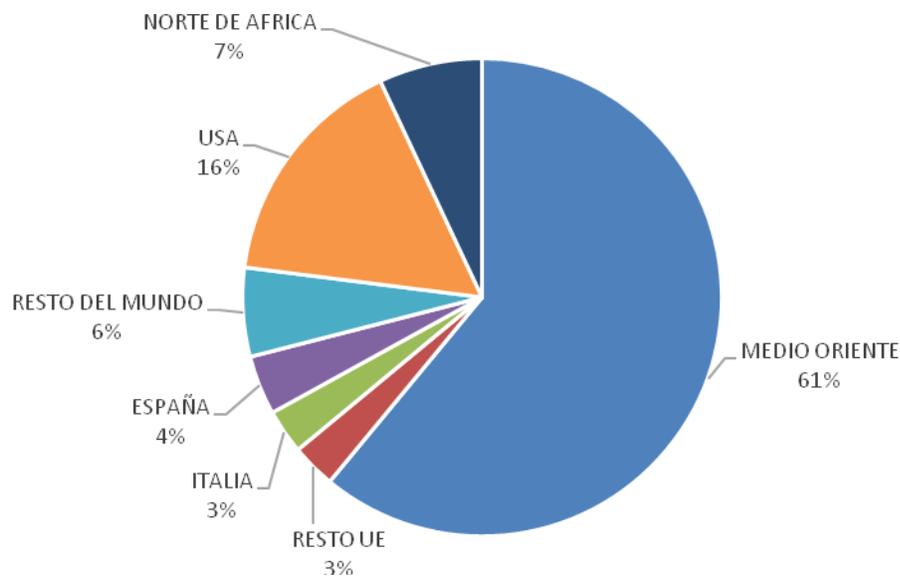


Figura 21: Distribución porcentual de la capacidad desaladora por países

Fuente: Elaboración Propia, (Maldonado González & López Morales, 2013)

En cuanto al método de desalación, a nivel mundial el 70% de las plantas¹⁵ de desalinización térmica se han pasado a la osmosis inversa. Aunque dicho sistema tiene problemas en lugares donde la temperatura es muy alta, sin embargo, las investigaciones actuales están dirigidas a la creación de nuevas membranas capaces de operar a baja presión y alta temperatura.

El futuro de la desalinización se centra en el desarrollo de varias tecnologías nuevas con el objetivo de reducir el consumo de las plantas. También el desarrollo de procesos que utilicen energías renovables. Unos ejemplos de tecnologías en desarrollo son:

¹⁵ (Montava, 2016)

- La desalinización por adsorción es uno de los procesos con mayor eficiencia de los que se encuentran en desarrollo. Este proceso puede utilizar la energía solar para desalinizar el agua, sin embargo, todavía existen problemas relacionados con el gran coste de inversión inicial.
- Otro ejemplo es la desalinización por membrana. Un proceso de baja energía impulsada térmicamente que utiliza una membrana hidrófoba para separar el agua por equilibrio líquido-vapor. Sin embargo, es necesario seguir desarrollando este proceso, ya que actualmente el proceso tiene muy poca eficiencia energética.

3.7.1 Desalinización en Chile

En el norte del país las fuentes tradicionales de agua se están agotando, por este motivo son cada vez más caras y más peligrosas para el consumidor. El estado del agua potable es todavía peor, por ello se buscan alternativas para producir agua potable.

A partir de la información obtenida de la Asociación Internacional de Desalinización (AID), se puede decir que a partir del siglo XIX Chile fue precursor en el empleo de los métodos de desalinización. Durante el periodo de la Guerra del Pacífico, Chile utilizó uno de los métodos de desalinización para abastecer de agua potable a sus tropas de combate. Posteriormente se creó una planta de destilación solar de una explotación minera, con el fin de purificar agua para proveer a la población minera en el norte de Chile.



Figura 22: Primera planta solar desalinizadora de agua en el mundo. Desierto de Atacama

Fuente:(La Desconocida Historia de Las Primeras Plantas Desaladoras Solares Del Mundo En El Desierto de Atacama, 2017)

La primera planta desalinizadora de Chile se construyó en 1857 en Antofagasta. Dicha planta depuraba el agua de forma artesanal y se producía muy poca cantidad. Sin embargo, esta planta sirvió para paliar la sed en uno de los desiertos más áridos del mundo. Luego en 1872, en el desierto de Atacama se construyó la primera planta solar de desalinización de agua en el mundo. Actualmente hay plantas desalinizadoras en Antofagasta y Caldera de las cuales la mayoría utiliza agua de mar para la producción de agua. Los usos del agua producto pueden ser para consumo humano o industrial, que van dirigidas a las mineras.

La primera planta moderna se construyó en Antofagasta por la empresa “Aguas de Antofagasta” para abastecer a la capital de la minería chilena. Al año siguiente se construyó otra en Taltal. La desalinizadora de Antofagasta abastece al 60% de los residentes de la ciudad, mientras que la de Taltal al 20%.¹⁶

¹⁶ (Montava, 2016)

La figura 23 da a conocer detalladamente las regiones del país que cuentan con un sistema de desalinización de agua, como es de esperar, la totalidad de estas se encuentran en el norte del país, ya que es esta zona la que presenta un mayor riesgo hídrico.

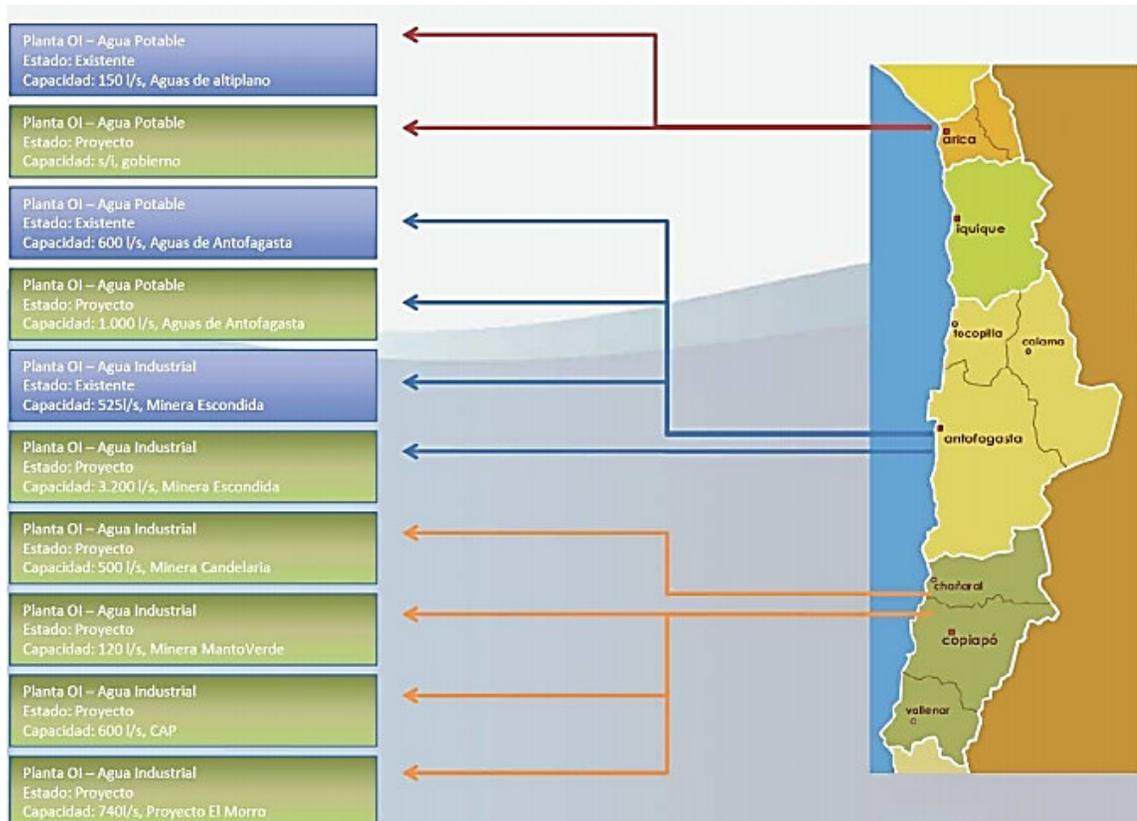


Figura 23: Distribución de Plantas Desalinizadoras a nivel Nacional

Fuente: (Acuña Bravo et al., 2011)

Actualmente se encuentra en proceso de construcción una de las plantas desalinizadoras más grandes de Sudamérica en Puerto Coloso, al sur de Antofagasta. La construcción se lleva a cabo por la empresa “Minera Escondida”.

Dicha desalinizadora producirá 216 millones de litros al día y su instalación tiene un coste de 3.430 millones de dólares y actualmente opera desde 2018.¹⁷

El metro cúbico de agua desalinizada en Chile tiene un precio de un dólar.¹⁸ Sin embargo, debido a la conducción hasta el interior del país, el coste puede aumentar hasta los 8 dólares por metro cúbico.

Por otra parte, para combatir la escasez de agua potable de la población se da inicio a un proyecto llevado a cabo por el estado de Chile. El proyecto consta de instalar la primera planta desaladora estatal en el país, la cual estará ubicada en el sector costero de Punta Zorro, comuna de Caldera. Alrededor de 210 mil personas de 4 ciudades de la Región de Atacama se verán beneficiadas de este abastecimiento de agua potable, estas localidades son Caldera, Copiapó, Chañaral y Tierra Amarilla.

En el año 2019 este proyecto ya llevaba un 70% de avance y se espera que su primera fase de opción se ponga en marcha en agosto del 2020, en la cual se estima que logrará a producir 1.200 litros por segundo de agua tratada.¹⁹

3.8 Método de desalinización

En una planta de desalinización el proceso más importante es la eliminación de las sales del agua. Por esta razón es importante elegir correctamente el método que se va a emplear en función de las características de la planta a diseñar, del caudal a tratar, la disponibilidad de energía, las características del agua, etc.

En el proceso de la desalinización se puede producir la separación del agua de las sales o las sales del agua. En la siguiente tabla se clasifica los métodos de desalinización en función de ello.

¹⁷ (Montava, 2016)

¹⁸ (Montava, 2016)

¹⁹ (Reporte Minero, 2019)

Tabla 9: Métodos de desalación

Separación	Energía	Proceso	Método
Agua de sales	Térmica	Evaporación	Destilación súbita flash
			Destilación multiefecto
			Termocompresión de vapor
			Destilación solar
	Mecánica	Cristalización	Congelación
			Formación de hidratos
			Filtración y Destilación con membrana
Mecánica	Evaporación	Compresión mecánica vapor	
		Filtración	Ósmosis inversa
Sales de agua	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodialisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

Fuente: Elaboración Propia

Los sistemas que son viables para su aplicación industrial son la destilación súbita flash (MSF), la destilación múltiple efecto (MED), la compresión de vapor (CV) y la ósmosis inversa (OI).

3.8.1 Destilación Súbita Multietapas (MSF)

El método más conocido como Multi Stage Flash Distillation (MSF) consiste en un proceso de reducción abrupta de la presión del agua de mar por debajo del valor de presión de equilibrio, ocurriendo una evaporación súbita (de carácter irreversible) y rápida (flash).

En el proceso MSF, el agua alimentada debe ser pre-tratada para prevenir incrustaciones de las sales en los tubos del proceso de transferencia de calor, debido a que la salmuera caliente afecta dichos tubos. Como se observa en la figura 25, el agua de mar es calentada al pasar por las diversas cámaras, en forma contracorriente donde se le da una entrada de calor en cada una de ellas. Siguiendo el recorrido, el fluido pasa por un intercambiador de calor, entrando constantemente a las cámaras con presión y temperatura decrecientes. En esta parte del proceso ocurre una expansión que hace que se evapore una fracción de salmuera en cada cámara, esta asciende pasando a través de una especie de filtro llamados “demisters” que desplaza las gotas que arrastran alta concentración de sales para entrar en contacto con un nuevo intercambiador de calor que hace que se condense el agua evaporada y que al mismo tiempo calienta el fluido que comienza su proceso. El condensado es el agua desalinizada captada que se produce por las diferentes cámaras, mientras que la salmuera es rechazada al final de la última etapa.

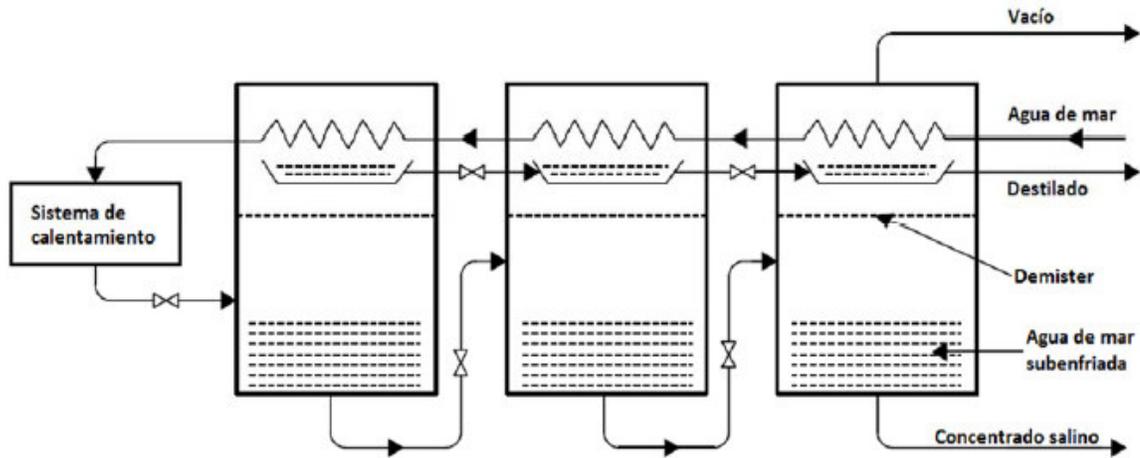


Figura 24: Esquema de proceso de desalación flash multietapas

Fuente: (Luo et al., 2018)

El número de etapas puede variar entre 20 y 60, de las cuales 1 a 4 son de eliminación de calor. El primer proyecto de desalinización con este método se realizó en 1957 y se construyó en 1960. Los resultados de este proceso de destilación son buenos independientemente de la calidad del agua bruta debido a la gran facilidad para encadenar varios de estos procesos y su capacidad de producción es muy alta. Sin embargo, el gran inconveniente de la destilación MSF es el gran consumo de energía que necesita para producir un metro cúbico de agua producto.

3.8.2 Destilación multiefecto (MED)

La destilación por sus siglas en inglés Multi Effect Distillation (MED) ocupa el mismo principio que el proceso de destilación súbita multietapas (MSF) aunque la diferencia está en la forma en cómo se lleva a cabo la evaporación. Este proceso se caracteriza por la energía suministrada al agua de mar antes de que

la ebullición tenga lugar, y que durante la evaporación no se suministra energía adicional debido a que los efectos continúan aportando calor al proceso.

En primera instancia el agua es evaporada en la cámara por una fuente externa, la que será ocupada en el proceso. La presión es reducida en cada una de las cámaras con tal de reducir la temperatura de ebullición. El agua no evaporada de la primera cámara, se hace pasar al segundo efecto evaporándose una pequeña fracción al disminuir la presión. De la misma forma, el vapor generado en el primer efecto se utiliza para calentar el agua a menor presión de la segunda cámara evaporándola parcialmente. Esta etapa se repite n efectos, pero cuantos más efectos se tengan mayor es la utilización de la energía aportada pero también mayor es el costo de la instalación.

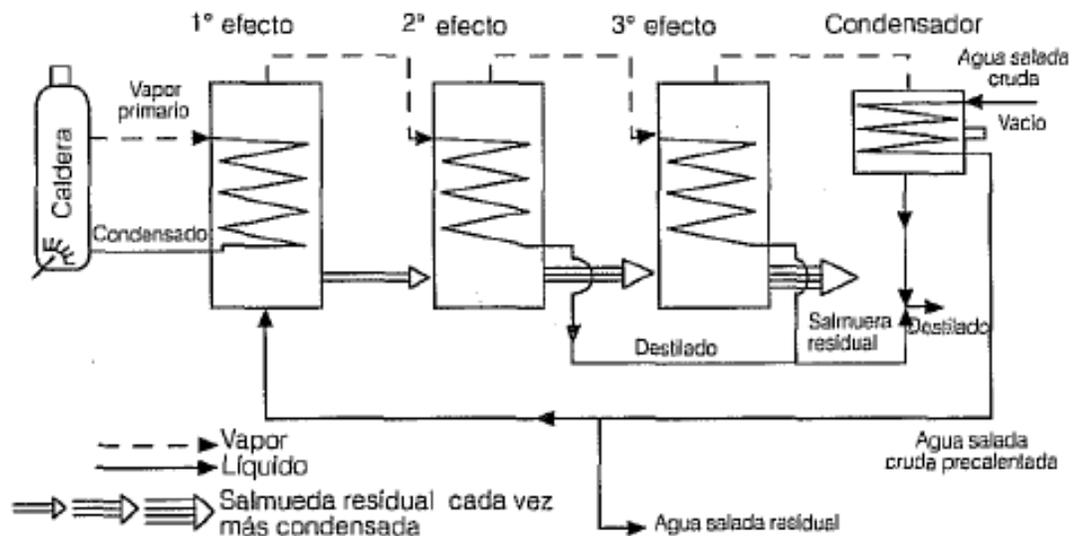


Figura 25: Esquema de proceso de destilación multiefectos (3 efectos)

Fuente: (Cortés, 2000)

El coste de inversión es mayor que en el sistema de MSF, pero es más sencilla de operar y tiene un coste de operación menor. Este sistema se ha utilizado en plantas de tamaño medio y es muy aconsejable cuando se aprovechan los calores residuales procedentes del vapor.

La disposición mostrada en la figura 25 es la típica en este proceso. Sin embargo, para tener una buena eficiencia en la transmisión del calor y una baja pérdida de carga, se emplean nuevas técnicas de cambiadores de calores de otro tipo con tubos verticales, lisos o acanalados.

3.8.3 Compresión de vapor (CV)

En este sistema, se obtiene el agua destilada mediante el mismo proceso de destilación por multiefectos (MED) pero utilizando una fuente de energía distinta, la cual comprime el vapor y luego es condensado las cuales son la compresión mecánica (MVC) y la eyección de vapor (Thermal Vapor Compression, TVC).

Como se puede observar en la figura 26, el agua de mar es precalentada para aumentar su temperatura, la cual es llevada hasta un pulverizador sobre los tubos del condensador. Una parte de esta al caer por gravedad se evapora y es aspirada por el compresor donde se comprime convirtiéndose en vapor recalentado. Finalmente, el vapor pasa por el interior de los tubos del evaporador cediendo calor a la mezcla de agua de mar que se pulveriza como de la misma forma el vapor que circula se condensa obteniendo el agua destilada. El remanente concentrado es extraído como salmuera, teniendo una concentración promedio de dos veces la concentración inicial.

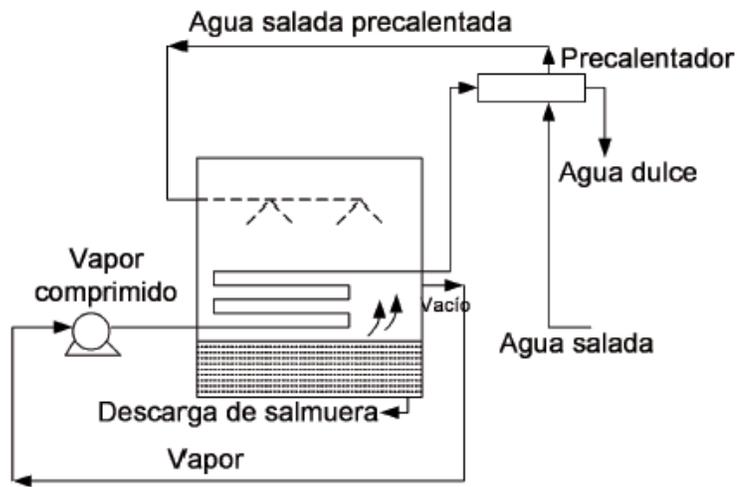


Figura 26: Esquema simplificado de destilación de compresión mecánica

Fuente:(Rojas-Delgado et al., 2007)

De igual forma, la termocompresión de vapor (TVC) utiliza el mismo procedimiento que el anterior pero su diferencia está en el compresor, un compresor jet que se basa en la creación de un chorro de vapor a través de un orificio tipo Venturi y extrae el vapor de agua creando un vacío, como se puede observar en la figura 27.

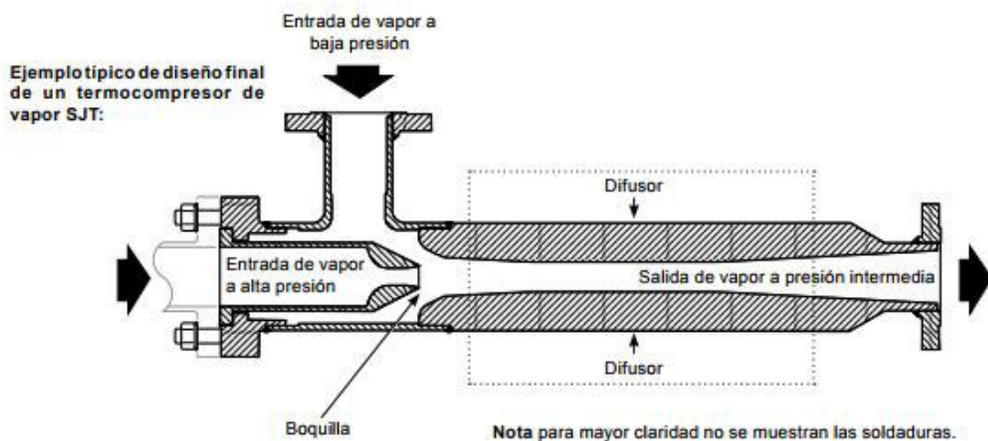


Figura 27: Esquema de funcionamiento de compresor jet

Fuente:(García Pérez, 2017)

3.8.4 Osmosis inversa (OI)

La osmosis directa es un proceso que ocurre en la naturaleza cuando 2 soluciones, con diferentes concentraciones, se ponen en contacto una con otras separadas por una membrana semipermeable, existe una circulación natural de la solución menos concentrada a la solución más concentrada para igualar las concentraciones finales. A la diferencia de altura que se genera entre las dos soluciones se le llama presión osmótica.

El proceso de osmosis inversa consiste en aplicar una presión externa mayor que la presión osmótica entre las dos soluciones para conseguir la inversión del proceso, es decir, que exista circulación de la solución con mayor sal a la solución con menor sal.

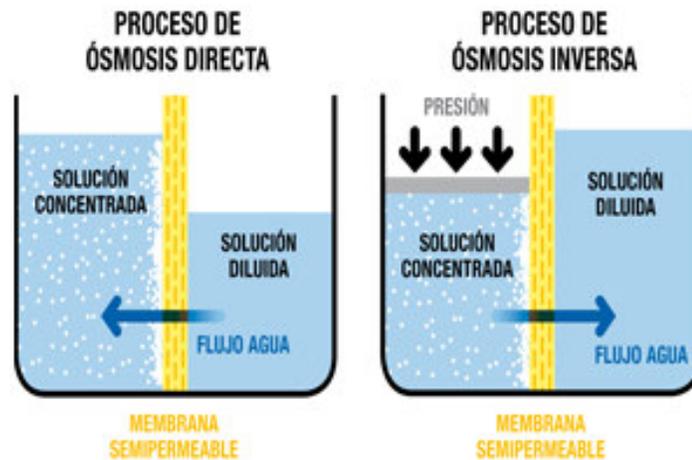


Figura 28: Esquema de proceso de osmosis inversa

Fuente:(El Agua Es Un Elemento Imprescindible • Tratamientos de Agua · Osmosis Inversa · Descalcificadores, 2018)

El sistema es recomendable para plantas desalinizadoras porque, aunque el agua no es tan pura como la obtenida con los procesos de destilación, sí es lo suficientemente pura para cumplir con los requisitos necesarios para su consumo.

Este proceso de desalinización es uno de los más utilizados ya que el consumo eléctrico es menor que el de los otros procesos de destilación. Además, la energía utilizada depende de la concentración del agua bruta. Se adapta fácilmente a las necesidades de agua producto de la zona y los costes de inversión son significativamente menores que en los procesos de destilación.

Algunas ventajas de este proceso son:

- Es un proceso muy efectivo

En la creación de agua apta para el consumo humano, el método de osmosis inversa ha demostrado ser efectiva. Las plantas desalinizadoras, cuando son diseñadas correctamente, son capaces de crear agua de buena calidad.

- La fuente de alimentación es el océano

El agua de mar puede servir como fuente de recursos ilimitados, incluso suponiendo que toda el agua que se consumiera en la tierra proviniera de la desalinización. Esto permitiría que, incluso en épocas de sequía, la población mundial tuviera acceso al agua para consumo y para agricultura.

- Puede eliminar las crisis derivadas de la falta de agua

En muchas partes del mundo se producen crisis debido a la sequía y, como esta agua es de fácil acceso y en cantidad prácticamente ilimitada, la tecnología podría utilizarse para paliar estas crisis.

- Puede preservar los actuales recursos

Se debe hacer hincapié en preservar al máximo los recursos de agua dulce disponibles en el planeta, ya que estos son limitados. De esta forma se podría reservar estos recursos para situaciones de escasez.

- Las plantas se construyen en lugares adecuados

Las plantas desalinizadoras se construyen lejos de zonas residenciales, se sitúan en emplazamientos industriales para no exponer a la población a ningún tipo de riesgo. Además, una única planta puede producir más de 500 millones de litros apta para el consumo humano, simplemente cambiando los métodos de obtención actuales.

También tiene algunos inconvenientes:

- El proceso es caro

Actualmente, la media de energía utilizada por las plantas desalinizadoras es de 2kWh para producir 1 metro cubico de agua. Esto se traduce aproximadamente en un coste de 2USD, aunque en realidad el coste se deriva del uso de combustibles fósiles utilizados para generar la electricidad que requiere la planta.

- Altos costes de construcción

El coste de construcción de una de estas plantas no es siempre asumible por parte de ciertos países. Es tal el coste, que en ciertas ocasiones han sido las autoridades quienes han tenido que paralizar el desarrollo tecnológico debido a que no son capaces de asumir el coste inicial de construcción.

- Elevados costes energéticos

Uno de los principales problemas de esta técnica es la gran cantidad de energía que consume. Puesto que la osmosis es un proceso natural, el proceso de invertirlo requiere gran cantidad de energía. Aquellos que se oponen a esta técnica explican que este tipo de instalaciones requieren gran cantidad de energía como para poderse mantener a largo plazo.

- El impacto ecológico de la salmuera

La salmuera, producto de desecho que se genera a partir del proceso de desalinización es altamente contaminante. Consiste en un líquido con elevada cantidad de sales, y esto puede provocar la muerte a fauna y flora del medio donde se vierte. Además, otros agentes contaminantes que intervienen en el proceso son los productos químicos utilizados en la limpieza, como el cloro o los antiincrustantes.

- Gases de efecto invernadero

Debido al proceso de desalinización, se pueden producir gran cantidad de gases que contribuyen al efecto invernadero, lo cual puede empeorar la calidad del aire respirado.

3.9 Potabilización

Un punto que no deja de ser relevante a la hora de la desalinización es su tratamiento para su posterior consumo. Es por esto, que en el proceso anterior el agua desalinizada es de alta pureza con una concentración muy baja en sales disueltas y minerales. Si el agua desalinizada fuese distribuida de esa forma generaría problemas para las personas, pero también para el sistema de distribución debido a que es muy agresivo y corrosivo para los materiales comúnmente utilizados como los metales y concreto. Para evitar lo anterior se realizan cuatro procesos de potabilización: La inyección de cal hidratante, la clorificación, inyección de dióxido de carbono y aireación.

El agua se remineraliza inyectando cal hidratado y dióxido de carbono para aumentar la dureza, alcalinidad, pH y contenido de mineral disuelto. La cloración se lleva a cabo inyectando gas de cloro, hipoclorito de sodio o calcio para desinfectar el agua y eliminar el crecimiento bacteriano. Por último, la aireación se utiliza para reemplazar el oxígeno del proceso de desalación, llevando al agua a mejorar su sabor y finalmente potabilizándola.²⁰

²⁰ (Khawaji et al., 2008).

4. METODOLOGÍA

4.1 Selección del área de estudio

En primer lugar, se escogerá el lugar para la instalación de la planta que debe contar con diversos factores para que esta funcione en perfectas condiciones. Los principales requisitos a tener en cuenta para escoger es sitio son los siguientes de acuerdo a la Tabla 10.

Tabla 10: Criterios de evaluación de área de estudio

Disponibilidad de recursos	Esto se refiere principalmente a tener un fácil acceso a los servicios de agua, electricidad, insumos, etc.
Disponibilidad de recursos humanos	Un factor importante es que el sector escogido esté cercano a la zona urbana, ya que así es más factible encontrar personal de trabajo y especialistas adecuados para un correcto manejo de la planta.
Disponibilidad de vías de comunicación	Un sector apropiado para este proyecto debe contar con un buen acceso a las carreteras o caminos principales, esto genera que la accesibilidad a la planta sea más eficiente.
Disponibilidad de suelo y clima	La comuna de El Tabo cuenta con un clima cálido y templado, esto no influye tanto en el funcionamiento de la planta. Por la parte del tipo de suelo lo ideal sería un suelo arenoso, ya que este se mantiene estable frente a los cambios de temperatura y son aptos para las construcciones.

<p>Cercanía a materias primas y mercado</p>	<p>Este es el factor más importante a tener en cuenta al momento de seleccionar el sitio, ya que la plata debe estar ubicada cerca de mar, debido a que esta agua sería la materia prima principal. También mientras más cerca este de la población a abastecer, más eficiente serían los procesos.</p>
<p>Disponibilidad de retiro de desechos</p>	<p>Se debe contar con los permisos municipales necesarios para tener acceso al retiro de desechos (domiciliarios) comunales.</p>

Fuente: Elaboración Propia

Para evaluar las zonas se utilizó una matriz de decisión (ver tabla 10), en la cual se realizó el siguiente procedimiento. Se valoró cada criterio asignándoles un porcentaje que representa su nivel de importancia frente a los demás. Se definió un sistema de calificación respondiendo a la pregunta ¿en qué grado cumple el criterio?, donde se le dieron valores (1= Bajo, 2= Regular, 3= Alto). Luego, se multiplicó la calificación de la zona en cada criterio por el porcentaje asignado, entregando su ponderación. Finalmente, se sumaron los valores obtenidos de los cálculos que se realizaron anteriormente por cada criterio y se seleccionó la que obtenga mayor puntaje para ubicar la planta desalinizadora.

Tabla 11: Matriz de decisión de criterios de estudio de zona

Criterio	Zonas de estudios						
	1		2		3		
	%	Valor criterio	Ponderación	Valor criterio	Ponderación	Valor criterio	Ponderación
Disponibilidad de recursos							
Disponibilidad de recursos humanos							
Disponibilidad de vías de comunicación							
Disponibilidad de suelo y clima							
Cercanía a materias primas y mercado							
Disponibilidad de retiro de desechos							
Puntaje de zona							

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Recopilación bibliográfica de los métodos de desalinización

En esta primera fase se hace la recopilación de antecedentes referentes a los aspectos técnicos de cada uno de los métodos de desalación en estudio, esto se realiza a través de fuentes de carácter nacional e internacional como memorias, proyectos en funcionamiento y en proceso de confección, son algunos como proyectos mineros y plantas desaladoras, la más actual que se encuentra en Caldera como guías para el estudio. De esta manera lograr asegurar que los conocimientos entregados y la metodología planteada cumplan la debida validez y actualidad científica.

4.3 Criterios de evaluación de los métodos de desalinización

Cada método estudiado anteriormente tiene sus propias características, que lo hace en diferente grado adecuado para cada caso. Es de esta forma que se establecen criterios de evaluación, ya sean de carácter ambiental, legal, económico y poblacional, que son comparados por las distintas técnicas al mismo tiempo.

La idea es ver cuál de los procesos estudiados posee mayores aptitudes para su futura implementación. Lo anterior se realiza analizando bibliografías existentes lo más actual posible.

Los criterios son:

- Tipo de energía
- Tipo de tecnología
- Fabricante
- Consumo de energía primario
- Consumo eléctrico
- Capacidad de producción
- Costo de instalación
- Costo de operación y mantención
- Mantenimiento
- Posibilidad de ampliación
- Fiabilidad de operación
- Desalación de mar
- Calidad de agua desalinizada
- Superficie para instalación

4.4 Cuadro Comparativo

A través del siguiente cuadro comparativo es posible observar y determinar cuáles son los métodos más eficientes aplicables en esta ocasión, cada criterio se evaluará como bajo, medio o alto según corresponda:

Tabla 12: Matriz de Decisión

	CRITERIO	(MSF)	(MED)	(CV)	(OI)				
MÉTODO	%	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación	Valor	Ponderación
Fabricante									
Consumo de energía primario (kJ/kg)									
Consumo Eléctrico (kWh/m³)									
Capacidad de producción (m³/día)									
Costo de instalación (€/m³)									
Costos de Operación y Mantenimiento (USD/m³)									
Necesidades de Mantenimiento									
Posibilidad de Ampliación									
Fiabilidad de operación									
Calidad de agua desalinizada (ppm)									
Superficie para instalación									
TOTAL									

Fuente: Elaboración Propia

Esta tabla de decisión fue llenada de la misma forma que la tabla 11. A cada criterio se le designa un nivel de relevancia en porcentaje. Posteriormente, se definió los respectivos valores (1= Bajo, 2= Regular, 3= Alto), como también la tabla de escala la cual será establecida al momento de los resultados. Estos valores serán multiplicados por el porcentaje asignado, así entregando la ponderación. Finalmente, se suman los valores calculados en los procesos anteriores.

Esta tabla será rellena al momento de los resultados y se utilizará para escoger los dos métodos más eficientes a evaluar, según los criterios establecidos con anterioridad. Resumiendo, el proceso metodológico mencionado anteriormente, se establece el siguiente diagrama de resumen.



Figura 29: Diagrama resumen de proceso metodológico

Fuente: Elaboración Propia

5. RESULTADOS

5.1 Zona de Aplicación

La sequía y la escasez de agua han afectado considerablemente a la comuna de El Tabo. En primer lugar, afecta a los vecinos, ya que hay sectores que no cuentan con el acceso a agua potable y su única forma de abastecimiento es a través de camiones aljibes que proporcionan este recurso una o dos veces por semana. A inicios del año 2020, las autoridades de la localidad junto al ministro de Bienes Nacionales comenzaron a implementar un proyecto de agua potable rural, este aún se encuentra en proceso, pero durante el primer mes de aplicación logró abastecer a un total de 200 familias aproximadamente.²¹

En segundo lugar, el Santuario de la Naturaleza Laguna el Peral, que cuenta con 25 hectáreas aproximadamente comenzó a verse afectado por la sequía en el año 2016, ahí fue cuando los vecinos del sector identificaron la considerable disminución de volumen que esta presentó. Las principales causas de esta problemática se deben al gran aumento de las temperaturas, a la escasez de precipitaciones y a un alto porcentaje de humedad. Se dice que esta fuente de recurso hídrico llegó a contar con más de 100 especies de aves y que actualmente no cuenta con más de 15.²²

²¹ (Antonio, 2020)

²² (Terram, 2016)



Figura 30: Santuario de la Naturaleza Laguna el Peral. 1975

Fuente:(Sergio Cárdenas, 2016)

Visualizando la imagen anterior y comparándola a la vez con la siguiente, es posible identificar una gran disminución del volumen de agua que presentaba la Laguna el Peral en 1975.



Figura 31: Santuario de la Naturaleza Laguna el Peral. 2016

Fuente:(Terram, 2016)

En las imágenes planteadas anteriormente es posible visualizar y comprender la situación de riesgo en la que se encuentra este santuario de la naturaleza. Sin embargo, es de suma importancia que las autoridades responsables se hagan cargo de este problema, ya que hay que conservar y tratar de recuperar en su máximo posible la flora y fauna con la que contaba antiguamente.

La localidad escogida para la realización de este proyecto es la comuna de El Tabo, ubicada en la V Región. A través de la página web de la Municipalidad se puede acceder al plano regulador, el cual entrega información sobre la zonificación del sector.

Según los antecedentes obtenidos el proyecto de la instalación de una planta desaladora entra en dos zonas, La Z11 y la Z12. La primera se refiere a una zona industrial no peligrosa y la segunda a una zona industrial no peligrosa de piscicultura.

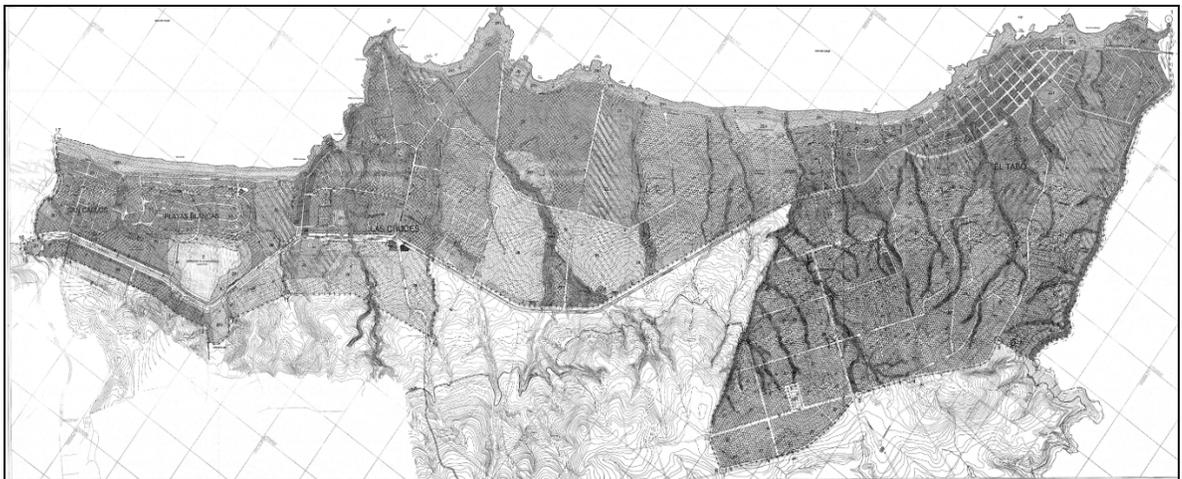


Figura 32: “Plano Regulador Comuna de El Tabo”

Fuente:(Municipalidad de El Tabo, 2016)

La figura 32 muestra una visualización en general del plano regulador de la comuna, con su respectiva señalización de uso de suelo.

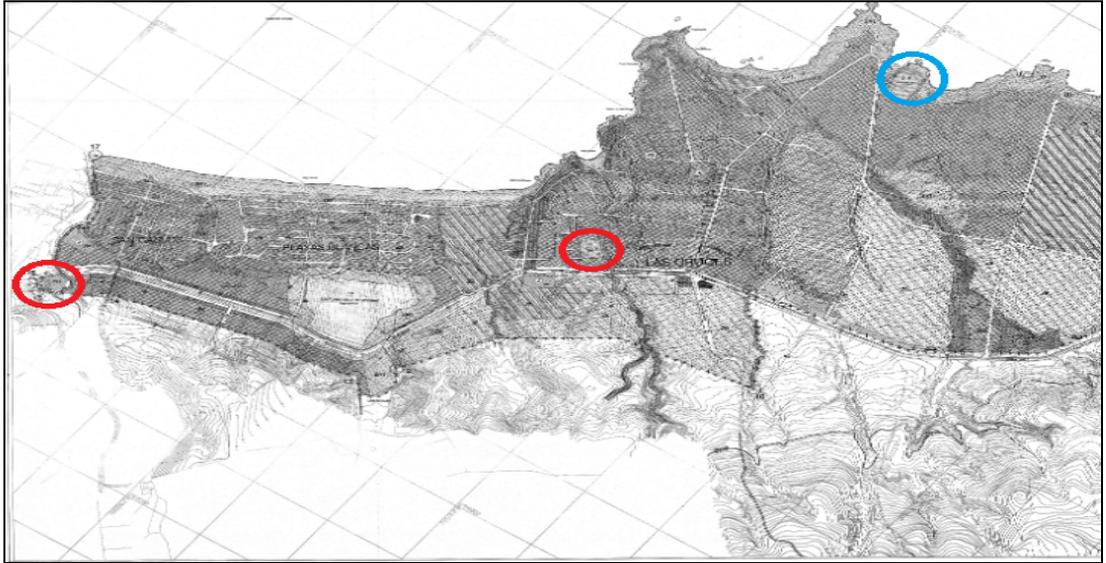


Figura 33: Demarcación de posibles zonas para instalación de la planta desalinizadora

Fuente: (Municipalidad de El Tabo, 2016)

En cambio, la figura 33 da a conocer la demarcación de las zonas en las que será posible llevar a cabo el proyecto, las dos zonas marcadas con rojo pertenecen a industriales no peligrosas y la zona marcada con celeste pertenece a una zona industrial no peligrosa de piscicultura. La evaluación de las zonas demarcadas se debe realizar luego de que se determine si el proyecto es factible o no, determinarán si el terreno es accesible, si se encuentra sin uso, si está protegido bajo alguna ley, entre otros.

5.1.1 Evaluación de Zonas

Observando la figura 34, se visualizan tres posibles zonas para la ubicación de la planta desalinizadora, cada una de ellas presenta diferentes características, las cuales serán consideradas al momento de seleccionar el sitio de instalación. Estas serán presentadas a continuación.

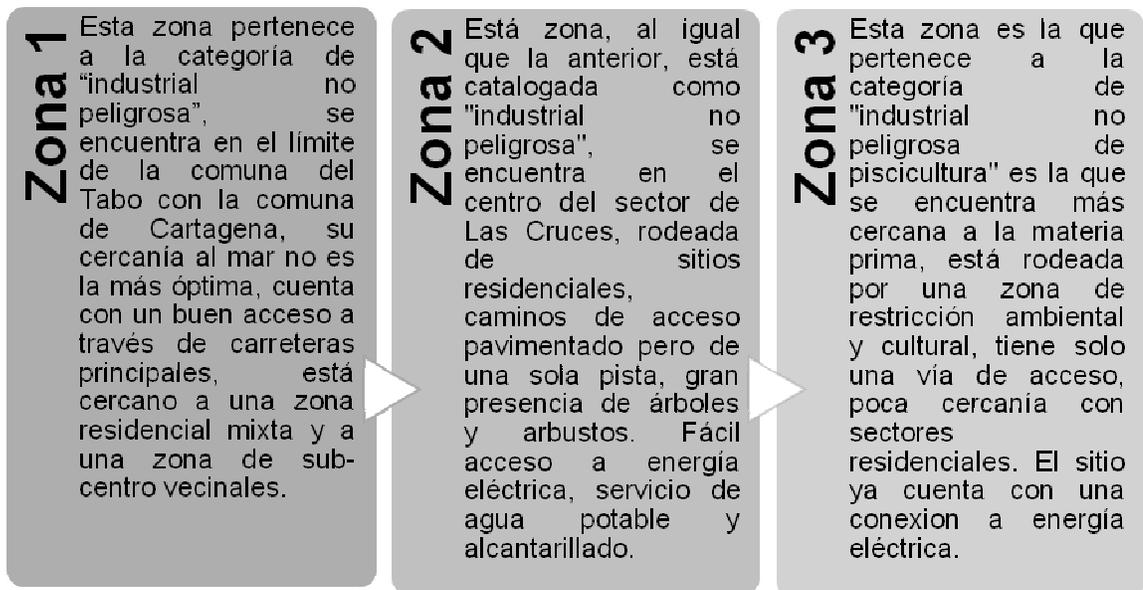


Figura 34: Características de las zonas

Fuente: Elaboración Propia

El orden de las zonas se considera de izquierda a derecha según lo representado en la figura 34.

5.1.2 Selección de la zona de aplicación

Tabla 13: Aplicación de tabla de decisión N°10

Criterio	Zonas de estudios						
	1		2		3		
	%	Valor criterio	Ponderación	Valor criterio	Ponderación	Valor criterio	Ponderación
Disponibilidad de recursos	25	3	0,75	3	0,75	2	0,5
Disponibilidad de recursos humanos	20	2	0,4	3	0,6	3	0,6
Disponibilidad de vías de comunicación	15	2	0,3	1	0,15	2	0,3
Disponibilidad de suelo y clima	5	3	0,15	2	0,1	3	0,15
Cercanía a materias primas y mercado	25	1	0,25	1	0,25	3	0,75
Disponibilidad de retiro de desechos	10	1	0,1	2	0,2	3	0,3
Puntaje de zona	100		1,95		2,05		2,6

Fuente: Elaboración Propia

Tomando en cuenta los criterios de evaluación y asignándoles un porcentaje de importancia a cada uno, se logra obtener como resultado que la Zona 3 es la más adecuada para la instalación de la planta desalinizadora, cumple en su gran mayoría con las características que esta necesita.

5.2 Capacidad de Abastecimiento

Con el objetivo de alcanzar la producción de agua necesaria que requiere la población indicada, se estimó la producción de la planta desalinizadora. El dato de la producción de agua requerida se ha estimado teniendo en cuenta el consumo medio de agua por persona al día, la cual en promedio asciende a 125-200 litros²³, en este caso de estimación se tomó el promedio de consumo que es de 150 litros.

Para la estimación del cálculo la planta, se consideró la población que habita durante todo el año en la provincia, la cual llega a ser de un total de 13.286 habitantes por el estudio realizado por Censo en el año 2017.(Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2017) En la siguiente ecuación se establece el caudal necesario para la planta desaladora.

$$Q = 0.15 \text{ m}^3/\text{Día por habitantes} * 13.286 \text{ habitantes} = 1993 \text{ m}^3/\text{día}$$

La planta debe contar con un caudal de producción de 1993 m³ al día para abastecer a la población antes mencionada.

5.3 Comparación de tecnologías de desalinización en estudio

Cada uno de los procesos mediante los cuales se puede desalinizar agua tiene sus propias características, que lo hace más o menos adecuado para cada caso. Por ende, es conveniente hacer un análisis comparativo de los criterios de cada proceso tecnológico viable en la actualidad para la producción de agua potable mediante la desalinización.

²³ (Gobierno de Chile, 2015)

Tras la comparación de los tratamientos de desalación actualmente existentes, se encuentra que solo algunos procesos son tecnológicamente viables actualmente a escala industrial: Flash multietapa (MSF), destilación múltiple efecto (MED), compresión térmica de vapor (TVC), ósmosis inversa (OI).

Tabla 14: Comparación de Métodos en Estudio

MÉTODO	MÉTODOS				Referencias
	(MSF)	(MED)	(CV)	(OI)	
CRITERIO					
Tipo de Energía	Térmica/ Calorífica	Térmica/ Calorífica	Mecánica/ Calorífica	Mecánica/ Eléctrica	[1]
Tipo de Tecnología	Evaporación	Evaporación	Evaporación	Membrana	[1]
Fabricante	Amplia competencia	Pocos en el mercado	Pocos en el mercado	Amplia competencia	[5] [4]
Consumo de energía primario (kJ/kg)	Alto (>200)	Medio (150-200)	Medio (150-200)	Bajo (<80)	[1]
Consumo Eléctrico (kWh/m³)	Medio 3,0 – 4,5	Bajo 1,5 – 2,5	Alto 5,5 – 6,5	Medio 2,5 – 3,5	[2] [3] [7]
Capacidad de producción (m³/día)	Alta (> 50.000)	Media (< 20.000)	Media (< 20.000)	Alta (> 50.000)	[1] [7]
Costo de instalación (€/m³)	Alto 1.080 – 1.690	Medio 780 – 1.080	Medio 780- 1.080	Medio 660 – 1.200	[1][4]
Costos de Operación y Mantenimiento (USD/m³)	Alto 0,4 – 5	Alto 0,4 - 5	Bajo 0,12-0,59	Medio 0,8 – 2	[4]

Necesidades de Mantenimiento	Bajo 2-4 veces por año	Alto 1-2 veces por año	Alto 1-2 veces por año	Medio 1-4 veces por año	[4] [5]
Posibilidad de Ampliación	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	[1] [4]
Fiabilidad de operación	Alta	Media	Media	Alta	[1] [4]
Desalación agua de mar	Sí	Sí	Sí	Sí	[1]
Calidad de agua desalinizada (ppm)	Alta (<50)	Alta (<50)	Alta (<50)	Media (300-500)	[1] [4]
Superficie para instalación	Mucha	Media	Media	Poca	[1]

Fuente: Elaboración propia

5.4 Selección de Métodos

Con los métodos escogidos para la realización de este proyecto, los cuales fueron los más representativos del mercado, se procedió a realizar una tabla de decisión tomando en cuenta los datos obtenidos de la Tabla 15.

Tabla 15: Aplicación de tabla de decisión

MÉTODO	CRITERIO	(MSF)		(MED)		(CV)		(OI)	
		Val or	Ponderaci ón						
Fabricante	5%	3	0,3	1	0,05	3	0,3	3	0,3
Consumo de energía primario (kJ/kg)	5%	1	0,05	2	0,1	2	0,1	3	0,15

Consumo									
Eléctrico (kWh/m ³)	10%	2	0,2	3	0,3	1	0,1	2	0,2
Capacidad de producción (m ³ /día)	15%	3	0,45	2	0,3	2	0,3	3	0,45
Costo de instalación (€/m ³)	15%	1	0,15	2	0,3	2	0,3	2	0,3
Costos de Operación y Mantenimiento (USD/m ³)	10%	3	0,3	3	0,3	3	0,3	2	0,2
Necesidades de Mantenimiento	5%	1	0,05	3	0,15	3	0,15	2	0,1
Posibilidad de Ampliación	5%	1	0,05	1	0,05	1	0,05	3	0,15
Fiabilidad de operación	10%	3	0,3	2	0,2	2	0,2	3	0,3
Calidad de agua desalinizada (ppm)	15%	3	0,45	3	0,45	3	0,45	2	0,3
Superficie para instalación	5%	1	0,05	2	0,1	2	0,1	3	0,15
TOTAL	100%		2,35		2,3		2,35		2,6

Fuente: Elaboración Propia

Las ponderaciones de la tabla anterior se realizaron de acuerdo a la importancia que tiene cada criterio en particular. Como es posible observar, el método de Destilación MSF, TVC y el de Osmosis Inversa son los con mejor puntuación, esto quiere decir que los tres son factibles para esta situación. Sin embargo, entre ellos se presentan diferencias de costos, mantenciones, consumo de energía, capacidad de producción, entre otros. Esta evaluación no solo busca

beneficios monetarios, sino que también una mejor oportunidad de respuesta a los cambios que la sociedad demanda.

Si bien el método de destilación MSF y TVC dieron una puntuación igual, se escoge el primer método mencionado, ya que presenta una amplia competencia de fabricantes en el mercado, lo cual es un factor muy importante.

5.5 Recurso Solar

El sol es la principal fuente de energía que la transmite de forma de ondas electromagnéticas. Solo una fracción irradiada por ella llega a la tierra, la que corresponde a unos 1.350 W/m^2 y es conocida científicamente como constante solar. Esto se debe a los distintos efectos que se generan a causa de la atmosfera como es la absorción, dispersión y reflexión, que solo permiten el paso de una parte de la radiación.(Eficiencia Energética, 2015)

Dependiendo de las condiciones climáticas como pueden ser las nubes, contaminaciones atmosféricas, etc., la radiación total que llega a la superficie terrestre se puede entender como la suma de dos componentes:

- Radiación directa: Corresponde a los rayos que vienen directamente del disco solar y no sufren ningún cambio en su dirección.
- Radiación Difusa: Son los rayos que han sido dispersados por la atmosfera y se le modifica su trayectoria, por lo tanto, provienen de distintas trayectorias partes del cielo.

Además, esta también depende de cuatro factores como son, la emisión de radiación solar, distancia entre el sol y la tierra, altitud del sol y longitud del día.

Como se conoce el movimiento de traslación de la tierra en torno al sol tiene una forma elíptica, la cual da origen a las estaciones del año. (ver figura 35)

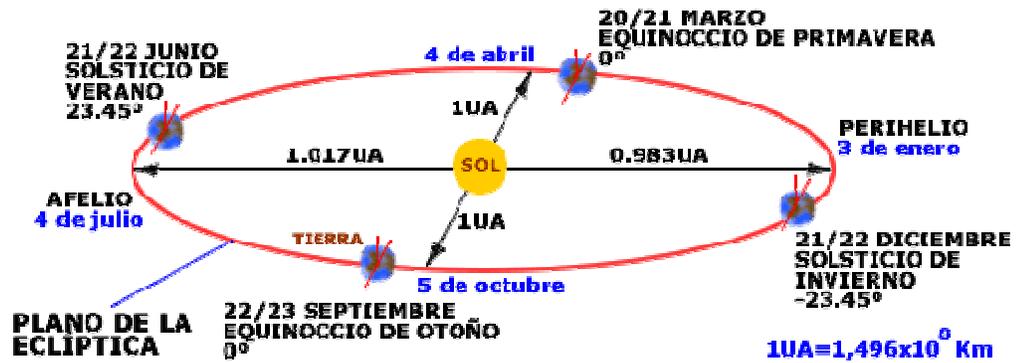


Figura 35: Traslación de la tierra en torno al sol

Fuente:(Eficiencia Energética, 2015)

Mediante la herramienta denominada explorador solar creado por el Ministerio de Energía junto al departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y la Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ), se pueden registrar y obtener datos para el análisis de los recursos renovables asociado a la radiación y generación de energía eléctrica por medio de paneles solares.

Este instrumento entrega información sobre la radiación solar incidente en cualquier punto del país, en un rango de 12 años (2004 -2016). Esto facilita el conocimiento de las variaciones del recurso en el tiempo y permite aumentar la precisión en la generación de energía a largo plazo.

En la figura 36, se puede ver el comportamiento de la radiación solar a lo largo de los años en el sector de estudio.

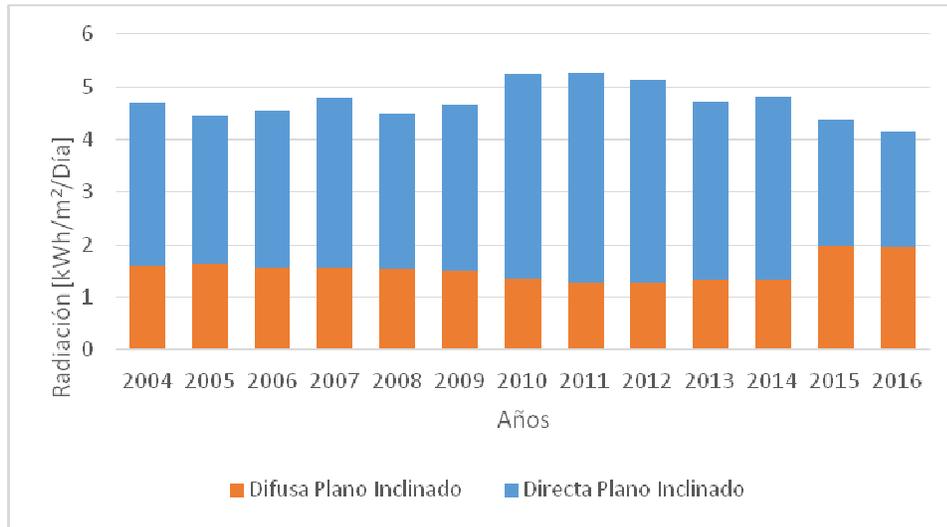


Figura 36: Comportamiento de la radiación solar

Fuente: Elaboración propia

En la figura 37 podemos ver el desglose expuesto por la figura 36, viendo el comportamiento de la radiación de forma interanual.

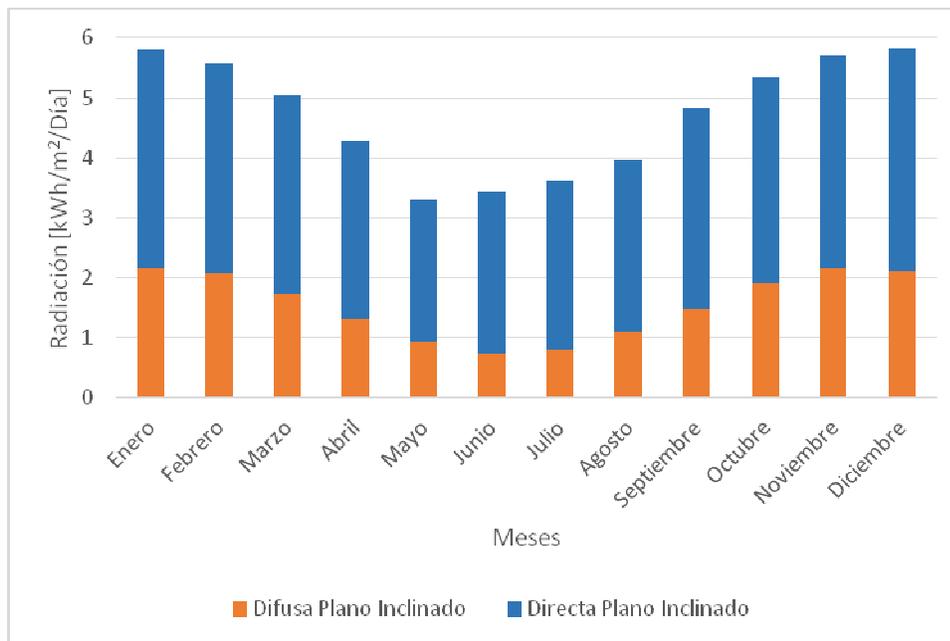


Figura 37: Radiación solar por meses

Fuente: Elaboración Propia

Mediante la figura 38, representa la trayectoria de la radiación captada por los paneles fotovoltaicos.

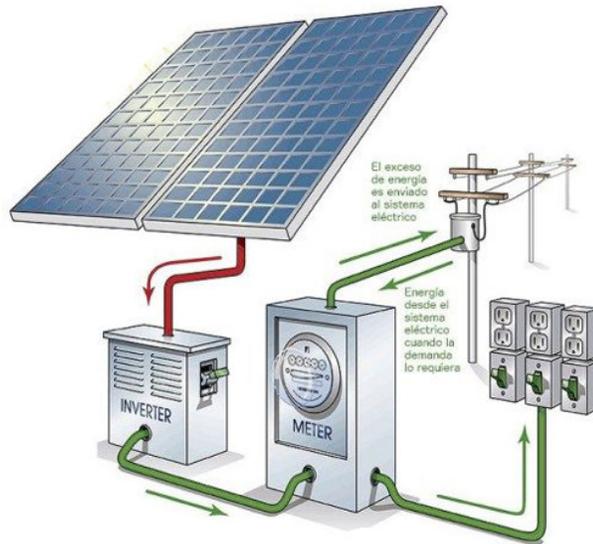


Figura 38: Trayectoria de radiación

Fuente: (¿Cómo Funciona Un Sistema Fotovoltaico de Autoconsumo? - HelioEsfera)

Como se puede observar, la captación de la radiación es llevada a las baterías y de almacenamiento de la energía para ser dirigidas al medidor bidireccional, el que se encarga de distribuir la energía a los instrumentos como también al sistema eléctrico.

Mediante un estudio realizado en base de proveedores de la Superintendencia de Electricidad y Combustible (SEC) y del Programa Techos Solares Públicos (PTSP) se tomó una muestra de 74 empresas que realizaron el análisis correspondiente a proyecto de paneles fotovoltaicos de tipo llave en mano bajo la Ley de Generación Distribuida (Ley N°21.118) que incentiva la autogeneración de energía en base a Energía Renovable No Convencionales (ERNOC).

A partir de la muestra, se estableció un análisis estadístico de precios de sistema fotovoltaicos comercializados en Chile en función de la capacidad de instalación de paneles fotovoltaicos.

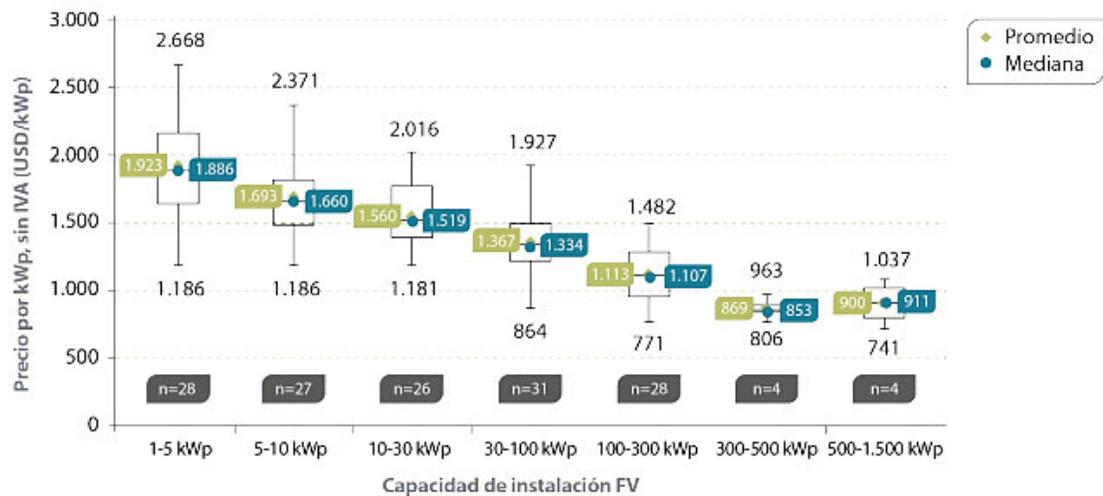


Figura 39: Capacidad de instalación de paneles fotovoltaicos

Fuente:(Ministerio de Energía et al., 2019)

Como se puede observar, la diferencia de precios por rango de potencia disminuye a medida que aumenta el tamaño de la capacidad de instalación FV. De igual manera, a medida que aumenta la capacidad de instalación se reduce los valores máximos y mínimos del precio por kWh, esto puede ser inferido a causa del tamaño escala del proyecto y por ende de la industria.

5.6 Recurso Eólico

Mediante la misma colaboración realizada en la herramienta anterior, por medio de instrumento denominado explorador de energía eólica, se pudieron hacer estimaciones del comportamiento del viento en el sector en estudio.

Lo que se muestra en la figura 40, es el comportamiento del viento a 5 m de altura.

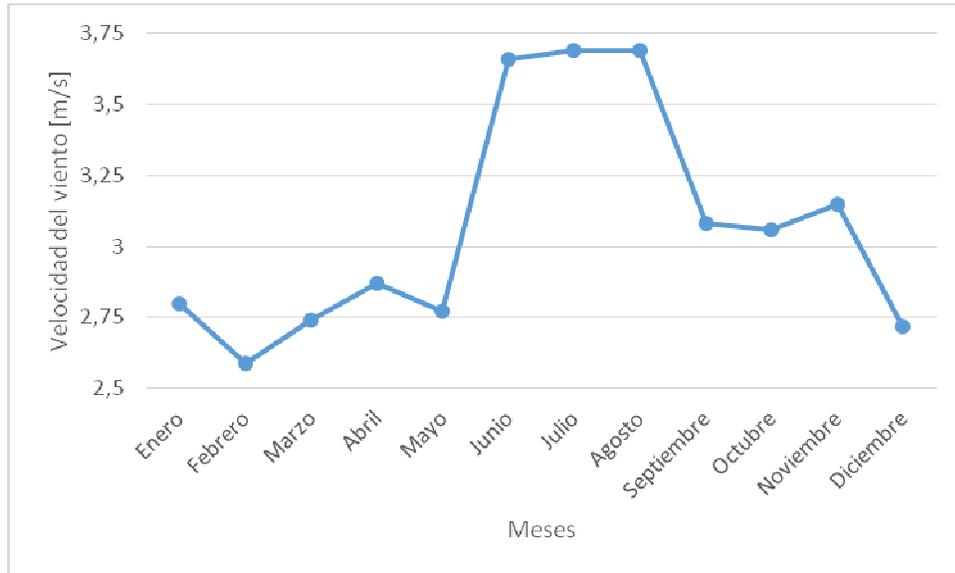


Figura 40: Comportamiento del viento a 5 m de altura

Fuente: Elaboración Propia

Debido a que se busca la captación de energía mediante la velocidad del viento, se cambió la altura de medición a 95 metros. En la figura 41, se identifica el comportamiento del viento de forma interanual.

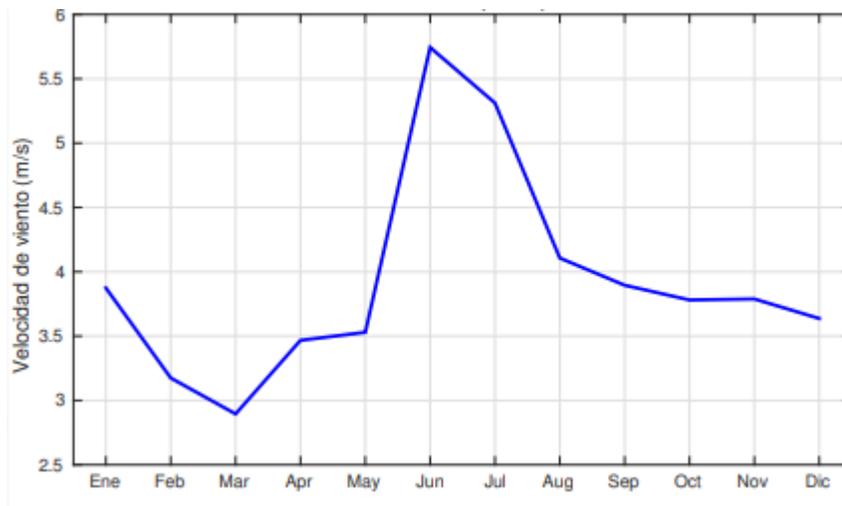


Figura 41: Comportamiento del viento de forma interanual

Fuente:(Ministerio de Energía, 2020)

5.6.1 Aerogeneradores

La composición de un aerogenerador es bastante estándar y varía solo en algunos componentes que son requerimientos del comprador. En general, sus componentes principales son:

- Torre
- Caja de engranajes o multiplicador
- Aspas y buje del rotor o hélice
- Sistema de control
- Generador

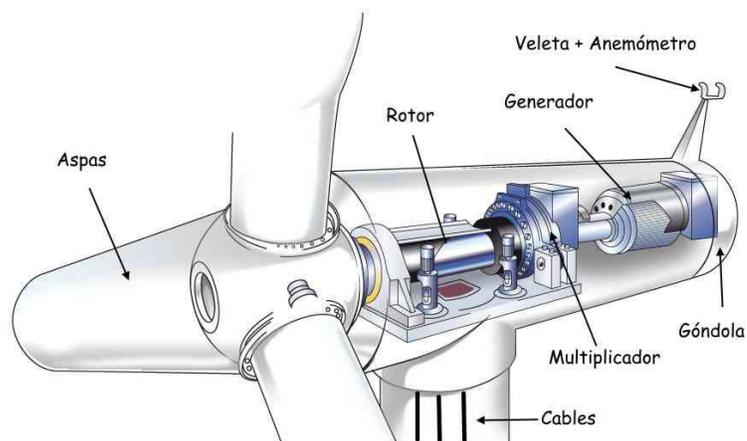


Figura 42: Parte de un Aerogenerador

Fuente:(Equipo de redacción profesional, 2017)

La torre tiene como función soportar el rotor o hélice y la góndola que está conformado por el multiplicador, generador y el sistema de control, además da la suficiente firmeza y anclaje al suelo para mantenerse en pie. Igualmente, la torre es la que determina la altura donde se posicionara la góndola y determina el largo de las aspas.

El multiplicador tiene por función acelerar la velocidad de giro del eje de las aspas, denominado eje de baja velocidad, y transmitirlo a una mayor velocidad al generador, denominado eje de alta velocidad. Esta caja es necesaria debido al uso de generadores sincrónicos y asíncrónicos en los aerogeneradores conectados a la red, por lo que se necesita que la velocidad de giro con la que operan estos aerogeneradores sea elevada, para que produzcan frecuencias eléctricas iguales a 50 Hz o 60Hz, dependiendo del país.

Las hélices se constituyen de las aspas y buje. Las aspas son las encargadas de captar el viento, mientras que el buje es la pieza que las mantiene unidas. De esta forma, la energía cinética proveniente del viento y captada por las aspas, se transfiere al buje que finalmente entrega al eje como energía mecánica.

En la figura 44, se muestra la proporción que debe existir entre el diámetro del rotor y la potencia nominal producida.

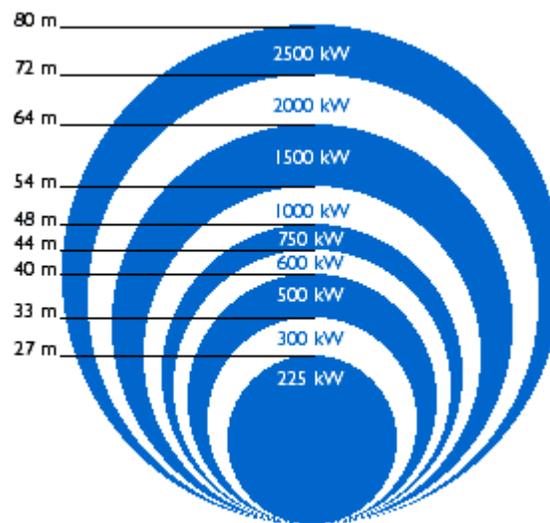


Figura 43: Proporciones del diámetro del rotor

Fuente: (Asociación danesa de la industria eólica, 2003)

5.7 Osmosis Inversa y Destilación MSF

5.7.1 Osmosis Inversa

Proceso natural que ocurre en los tejidos de plantas y animales. Representativamente se puede decir que cuando dos soluciones con diferentes concentraciones, se unen a través de una membrana que permite el paso del solvente pero no del soluto, existe una circulación natural del solvente a través de la membrana, desde la solución con menos concentración, hacia la de mayor concentración. La diferencia de altura que se obtiene del proceso, se conoce como presión osmótica.

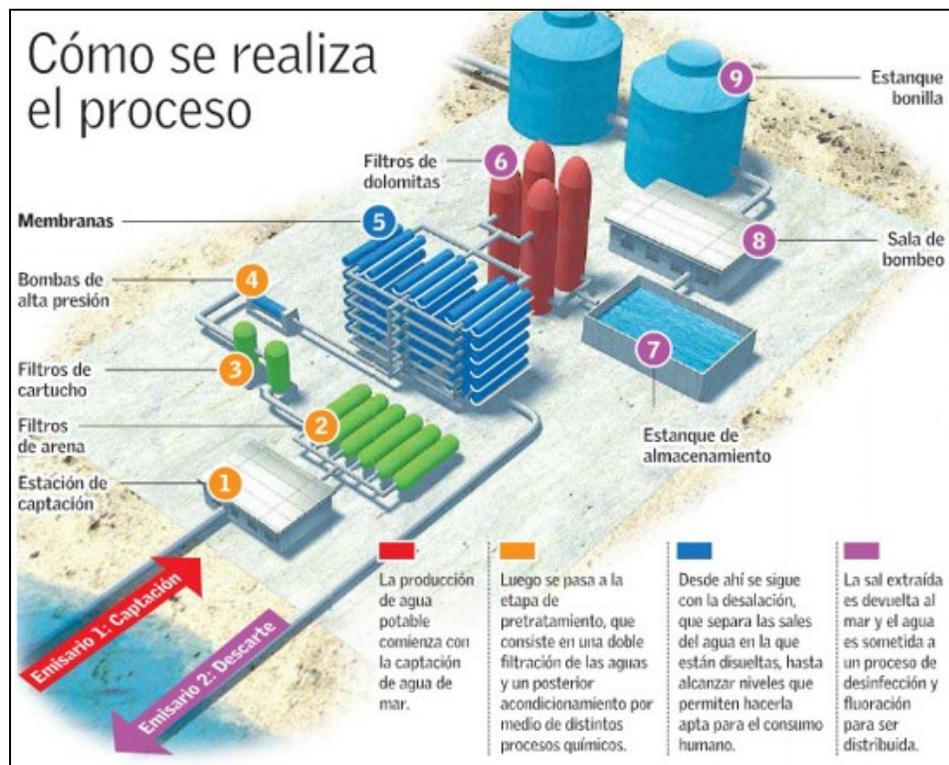


Figura 44: Diagrama de Proceso de Osmosis Inversa

Fuente: (Futuro Renovable, 2015)

El proceso de osmosis inversa se genera en múltiples etapas. En primera instancia se realiza la succión del agua de mar mediante una tubería (ver figura 44, Emisario 1: Captación y figura 45, A) que conecta la estación de captación (figura 44, punto 1) y una estructura de hormigón armado denominada “chupador” (figura 45, B) en donde este se construye a una distancia de 200 m de la costa y a una profundidad de 15 m para evitar la succión de agua contaminada. (ver figura 45)



Figura 45: Captación de agua de mar

Fuente:(Riesco, 2009)

Luego, el agua captada pasa por dos procesos de filtrado, el filtrado de arena (ver figura 44, punto 2 y figura 46, C) los cuales son depósitos metálicos posicionados horizontalmente y que en su interior contiene arena de cuarzo donde se retienen las partículas de mayor tamaño que traiga el agua de mar, estos son principalmente de carácter orgánico. Después del paso el agua de mar por el primer filtro el agua es llevada a los filtros de cartucho (ver figura 44, punto 3 y figura 46, D) que son depósitos de la misma característica que la anterior pero dispuestos de forma vertical que en su interior contiene 116 cartuchos cilíndricos de polipropileno (ver figura 46, E).

Su función es retener las partículas superiores a 5 micras, ya realizado los filtrados puede ser llevada a los bastidores para realizar el proceso de osmosis inversa.



Figura 46: Pre-tratamiento de agua de mar

Fuente:(Riesco, 2009)

El agua pre-tratada pasa por una bomba de alta presión (ver figura 44, punto 4) que la acelera para pasarla por los bastidores donde se produce la desalación (ver figura 44, punto 5), como lo muestra con mayor detalle la figura 47.

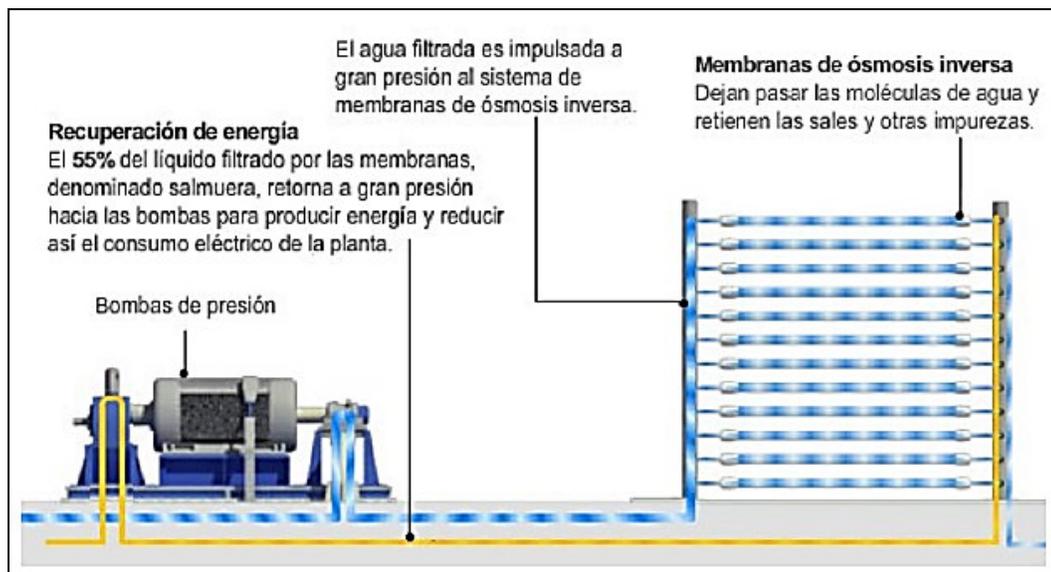


Figura 47: Proceso de desalación por bastidores

Fuente:(Riesco, 2009)

El consumo eléctrico de los bastidores más las bombas suman la mayor parte del gasto total del proceso de desalación a nivel industrial. Para poder recuperar el consumo del proceso se realizan algunas gestiones de proceso para reducir costos como se puede observar en la imagen anterior.

A continuación, se observa con mayor detalle la composición de la membrana del proceso de desalación.

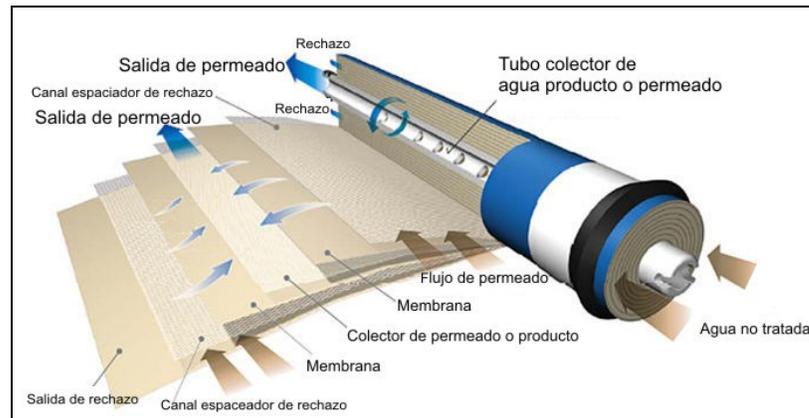


Figura 48: Membrana que realizan el proceso de desalación

Fuente:(Paco López, 2016)

Para convertir el agua tratada en agua potable debe pasar por los estanques de dolomita (ver figura 44, punto 6) que hace decantar el agua disolviendo piedras de naturaleza cálcica que contiene calcio y magnesio, como también ajustar el pH del agua ozmotizada para lograr la calidad final del agua de acuerdo con la norma establecida. Finalmente es llevada a los estanques de acumulación (ver figura 44, punto 9) para ser distribuida.

5.7.1.1 Sistema de Osmosis Inversa

En toda planta de osmosis inversa se debe contar con una serie de procesos y su respectivo listado de equipos, los cuales son nombrados a continuación:

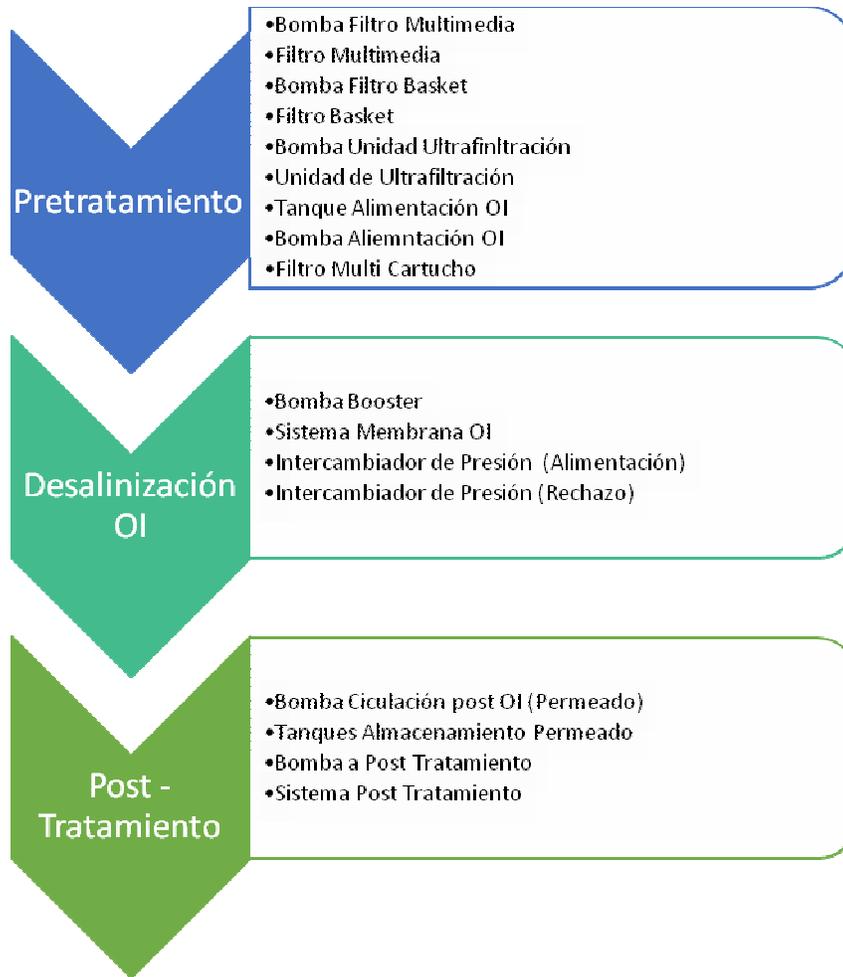


Figura 49: Procesos y listado de equipos para proceso de OI

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a las estimaciones realizadas en el punto 5.2 sobre la capacidad que debiera tener la planta de Osmosis inversa, se realizó una selección de equipos y maquinaria que cumplan las condiciones óptimas para la producción de dicha capacidad.

Para seleccionar correctamente los equipos, se establecen los flujos operacionales, estos se darán a conocer en la tabla siguiente:

Tabla 16: Flujos Operacionales

N° Ítem	Ítem	Caudal (m ³ /h)		Caudal (m ³ /día)	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
1	Bomba Filtro Multimedia	200,0	200,0	4800,0	4800,0
2	Filtro Multimedia	200,0	200,0	4800,0	4800,0
3	Bomba Filtro Basket	200,0	200,0	4800,0	4800,0
4	Filtro Basket	200,0	200,0	4800,0	4800,0
5	Bomba Unidad Ultrafiltración	202,5	202,5	4859,0	4859,0
6	Unidad de Ultrafiltración	202,5	200,0	4859,0	4800,0
7	Tanque Alimentación OI	200,0	200,0	4800,0	4800,0
8	Bomba Alimentación OI	200,0	200,0	4800,0	4800,0
9	Filtro Micro Cartucho	200,0	200,0	4800,0	4800,0
10	Bomba OI HP	61,0	61,0	1464,0	1464,0
11	Bomba Booster	139,1	139,1	3338,4	3338,4
12	Sistema Membrana OI	200,0	60,0	4800,0	1440,0
13	Intercambiador de Presión (Alimentación)	139,1	139,1	3338,4	3338,4
14	Intercambiador de Presión (Rechazo)	140,0	140,0	3360,0	3360,0
15	Bomba Circulación post OI (Permeado)	60,0	60,0	1440,0	1440,0
16	Tanque Almacenamiento Permeado	60,0	60,0	1440,0	1440,0
17	Bomba a Post Tratamiento	60,0	60,0	1440,0	1440,0
18	Sistema Post Tratamiento	60,0	60,0	1440,0	1440,0

Fuente: Elaboración propia

5.7.1.2 Bomba Filtro Multimedia

Esta bomba es encargada de alimentar la planta de OI con el agua de mar que es extraída desde la profundidad de la costa.

Tabla 17 : Parámetro Bomba filtro multimedia

Bomba Filtro Multimedia		Unidad
Flujo entrada	200	m ³ /h
Presión bomba ΔP	3,6	Bar
Costos	13.736	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.7.1.3 Filtro Multimedia

El equipo de filtraje que se demuestra en la figura 50, tiene como función permitir realizar un tratamiento adecuado, utilizando materiales como la arena de cuarzo, carbón activado, antracita, grava volcánica, etc., esto permite eliminar sedimentos, turbiedad partículas, entre otros, principalmente partículas que se encuentran en el agua de mar. Los parámetros operacionales se entregan en la tabla 18.



Figura 50: Equipo de filtraje

Fuente: (Pure Aqua, n.d.-a)

Tabla 18: Parámetros Operacionales Filtro Multimedia

Proveedor	AquePure		
Modelo	MLF78-A		
N° de unidades	2		
	Mínimo	Máximo	Unidades
Flujo Entrada	75,4	150,8	m ³ /h
Presión de alimentación	2	6,8	Bar
Tamaño de partículas eliminados	25	50	Mm
Precio	\$32.401		US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.7.1.4 Bomba Filtro Basket

Esta bomba encargada de abastecer el filtro basket con la presión necesaria por el filtro del mismo nombre. También debe mantener la presión dentro de los filtros, debido a que sufren una caída en su interior. Los parámetros de operación se presentan en la tabla 19.

Tabla 19: Parámetros Operacionales Bomba filtro basket

Bomba Filtro Basket	Unidad	
Flujo Entrada	200	m ³ /h
Presión bomba ΔP	0,4	bar
Costo	\$9.228	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.7.1.5 Filtro basket

Filtro de malla de acero inoxidable con sistema de auto lavado que también puede ser utilizado incluso durante su funcionamiento. En la figura 51 se observa este tipo de equipo y en la tabla 20 se muestran los parámetros de operación.



Figura 51: Filtro Basket

Fuente: (Villagrán Morales, 2017)

Tabla 20: Parámetros Operacionales Filtro Basket

Proveedor	STF Filtros		
Modelo	FMA-2004		
N° de unidades	2		
	Mínimo	Máximo	Unidades
Flujo Entrada	90	110	m ³ /h
Presión de alimentación	2	10	bar
Tamaño de partículas eliminados	34	50	µm
Precio	\$13.341	US\$/unidad	

Fuente: Elaboración Propia

5.7.1.6 Bomba Unidad Ultrafiltración

Es la encargada de alimentar la unidad de ultrafiltrado con la presión que requiere considerando las respectivas pérdidas de carga indicadas por el proveedor. Los parámetros de operación se muestran en la tabla 21.

Tabla 21: Parámetros Operacionales Bomba unidad ultrafiltración

	Bomba UFU	Unidad
Flujo Entrada	202,5	m ³ /h
Presión bomba ΔP	0,5	Bar
Costo	\$9.228	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.7.1.7 Unidad de Ultrafiltración

Permite remover sólidos suspendidos de tamaños inferiores a 250 μm, que consiste en un número variado de membranas diseñadas para este grado de filtración. Este sistema incorpora un método de dosificación de químicos para su sistema de limpieza de membranas que consiste en hipoclorito de sodio (NaOCl) y ácido sulfúrico (H₂SO₄).



Figura 52: Unidad de Ultrafiltración

Fuente: (Pure Aqua, n.d.-c)

En la tabla 22 se muestran los parámetros de operación del equipo.

Tabla 22: Parámetros Operacionales Unidad ultrafiltración

Proveedor	AquePure		
Modelo	UF-24		
N° de unidades	1		
	Mínimo	Máximo	Unidades
Flujo Entrada	200	200	m ³ /h
Presión de alimentación	3,4	3,4	Bar
Tamaño de partículas eliminados	0,03	250	Mm
Precio	\$422.596	US\$/unidad	

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.8 Tanque de Alimentación OI

Este tanque abastece de agua directamente al proceso de desalinización, el suministro se realiza de manera ininterrumpida durante 24 horas, el tanque es selecciona con las dimensiones específicas para este proceso. Teniendo en cuenta que el caudal de entrada desde el mar corresponde a 4.800 m³/día, se debe considerar un tanque de capacidad aproximada al flujo diario de entrada. En la tabla 23 se detallan las dimensiones del tanque.

Tabla 23: Dimensiones Tanque de Almacenamiento OI

Tanque Almacenamiento OI	Unidad	
Diámetro	22,4	m
Altura	12,2	m
Capacidad	4769	m ³ /h
Costo	\$1.012.143	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.9 Bomba Alimentación OI

Equipo encargado de bombear el agua desde el tanque de alimentación OI hacia los filtros micro cartuchos. Esta es la última etapa de filtración del proceso de pre tratamiento. En la tabla 24 se muestran los parámetros de operación.

Tabla 24: Parámetros Operacionales Bomba alimentación OI

Bomba Alimentación OI		Unidad
Flujo Entrada	200	m ³ /h
Presión bomba ΔP	2,4	Bar
Costo	\$12.243	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.10 Filtro Micro Cartucho

Tipo de filtración que consiste en hacer circular el fluido por el interior de un recipiente a presión a través de los cartuchos de polipropileno desde afuera hacia dentro dejando en la parte exterior los contaminantes que se desean eliminar. El sistema de filtración cuenta además con un sistema de inyección de químicos de forma gradual. A continuación, se detallan los parámetros de operación mostradas en la tabla 25.

Tabla 25: Parámetros Operacionales Filtro micro cartucho

Proveedor	AquePure		
	Modelo	Cantidad	
Recipiente	252EFCF4-8FC150	1	
Cartuchos	PA-405	63	
	Mínimo	Máximo	Unidades
Flujo Entrada	200	200	m ³ /h
Presión de alimentación	3,45	3,45	bar
Tamaño de partículas eliminados	> 5	5	μm
Precio	\$24.232		US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia



Figura 53: Filtro Micro Cartucho

Fuente: (Villagrán Morales, 2017)

5.5.1.11 Bomba OI HP

Es el equipo más crítico del proceso de desalinización debido a que debe entregar la fuerza suficiente para alcanzar las altas presiones necesarias para vencer presiones superiores a la presión osmótica que requiere el agua de mar con la finalidad de permear agua. Debido a las altas presiones mencionadas, tiene como consecuencia este equipo el alto consumo energético, por lo que su selección es determinante para la evaluación del proyecto mirándola en términos técnicos – económicos. En la figura 54 se observa la bomba, mientras en la tabla 26 se muestran los parámetros de operación.

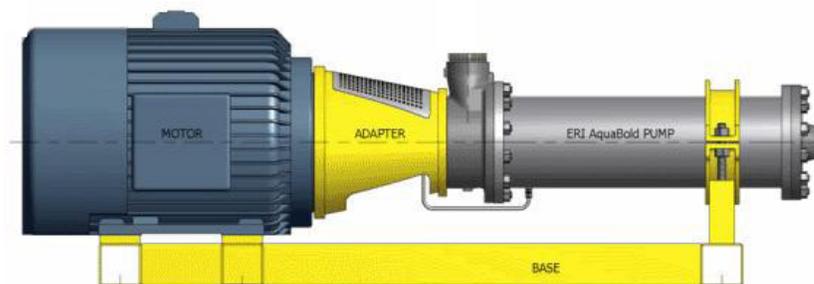


Figura 54: Bomba OI HP

Fuente: (Hernández González, n.d.)

Tabla 26 : Parámetros Operacionales Bomba OI HP

Proveedor	Energy Recovery	
Modelo	2x3x5-C/21	
N° de unidades	1	
Etapas	21	
		Unidades
Flujo de operación	61	m ³ /h
Presión bomba ΔP	38	bar
Eficiencia @61 (m3/h)	74,11	
Precio	\$75.498	US\$/unidad

Fuente: Elaboración Propia

5.5.1.12 Bomba Booster

Bomba booster es la encargada de levantar las diferencias de presión, a pesar que el intercambiador de presión permite transferir cerca de un 95% la energía del agua de rechazo.

Los parámetros de operación de la bomba booster se muestran en la tabla x

Tabla 27: Parámetros Operacionales Bomba Booster

Proveedor	Energy Recovery	
Modelo	VP-4671	
N° de unidades	1	
	Unidades	
Flujo de operación	139,1	m ³ /h
Presión bomba ΔP	4,3	bar
Eficiencia @61 (m3/h)	0,7	
Costo	\$55.930	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.13 Sistema Membrana OI

Sistema de recipiente que almacenan membranas en configuración en serie y paralelo que permite desalinizar el agua, esta es ingresada a altas presiones. El fluido entra en contacto por la parte externa y permea hacia el interior por donde circula el agua producto. En la figura, se logra apreciar su distribución.



Figura 55: Sistema de Membrana OI

Fuente:(Pure Aqua, n.d.-b)

Los parámetros de operación de este equipo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 28: Parámetros Operacionales Sistema de membrana OI

Proveedor	PureAqua	
		Unidades
Agua Producida	60	m3/h
Máximo TDS de alimentación	42.000	TDS
TDS de operación	35.000	TDS
Número de recipientes de presión	18	unidades
Número de Membranas de OI	108	unidades
Diámetro de Membranas	8´	inch
Modelo de Membrana	SW30HRLE-370/34i	
Porcentaje de permeado	30%	
Costo total	\$568.148	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.14 Intercambiador de Presión

Equipo que permite recuperar casi la totalidad de la energía en forma de presión llegando a una eficiencia de 96,8%, que antes los procesos la eliminaban al mar a través del agua salobre, producto de la desalinización. En la figura 56 se aprecia el equipo instalado en una planta y a la vez su interior.

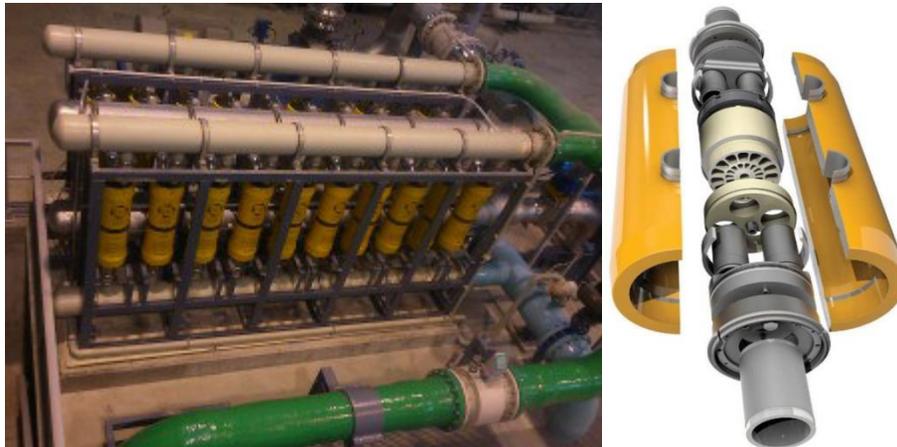


Figura 56: Intercambiador de Presión

Fuente:(Mateo Montero Varela, 2014),(Universal Water Treatment, n.d.)

Los parámetros de operación de este equipo se muestran en la tabla 29.

Tabla 29: Parámetros Operacionales Intercambiador de presión

Proveedor	Energy Recovery	
Modelo	PX-220	
N° de unidades PX	3	
	Unidades	
Flujo por Unidad de PX	46,7	m ³ /h
Eficiencia @61 (m ³ /h)	95,10%	
Costo	\$41.794	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.15 Bomba Circulación post OI

Esta bomba se encarga de transportar el agua permeada de las membranas hacia el estanque de almacenamiento de permeado. El paso del fluido a través de las membranas produce una reducción del agua de interés. Esta reducción es un 30% del flujo original que es captado, quiere decir que pasa de 200 m³/h a 60 m³/h.

Los parámetros de operación del sistema de la bomba se muestran en la tabla 30.

Tabla 30: Parámetros Operacionales Bomba circulación post OI

Bomba Circulación post OI	Unidad	
Flujo de operación	60	m ³ /h
Presión bomba	0,5	bar
Costo	\$8.633	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.16 Tanque Almacenamiento Permeado

De igual forma que para el tanque alimentación OI, el criterio de selección es el mismo basándose en mantener una reserva de agua para por lo menos dos

días, correspondientes a dos estagues de 1590 m³ cada uno de capacidad. En la tabla 31 se especifican las dimensiones para poder lograr el criterio establecido.

Tabla 31: Dimensiones Tanque de almacenamiento permeado

Tanque Almacenamiento Permeado	Unidad	
N° de tanque	2	
Diámetro	13	m
Altura	12,2	m
Capacidad	1590	m ³
Costo	\$384.012	m ³ /h

Fuente: Elaboración Propia

5.5.1.17 Bomba Post Tratamiento

Bomba que se encarga de transportar el agua permeada en los tanques de almacenamiento hacia el post tratamiento con adición de químicos que permiten remineralizar el agua. Los parámetros de la bomba se muestran en la tabla 32.

Tabla 32: Parámetros Operacionales Bomba post tratamiento

Bomba a Post Tratamiento	Unidad	
Flujo de operación	60	m ³ /h
Presión bomba	0,1	bar
Costo	\$8.633	US\$/unidad

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.18 Sistema Post Tratamiento

Este sistema consiste en diversos equipos que se encargan de la última etapa del tratamiento del agua, modificando está con los parámetros químicos establecidos en la Norma Chilena de calidad del agua, para ser considerada como potable, apta para el consumo humano. Los sistemas de dosificación se describen en la tabla 33.

Tabla 33: Sistemas de Dosificación

Cantidad	Modelo	Descripción	Costo
1	CDS24-2-pH	Sistema posterior de dosificación para regular Ph	\$1.555
1	CDS12-2	Sistema posterior de cloración del Agua	\$527
1	CS8-6	Sistema de limpieza para membrana de 8''	\$23.205
Costo Total (US\$)			\$25.288

Fuente: Elaboración propia

5.5.1.19 Parámetros de Operación de la Planta OI

Bajo las restricciones de la demanda de agua que debe ser producida se proyecta la planta de Osmosis Inversa de acuerdo a las condiciones de operación de los distintos equipos que conforman el sistema.

Tabla 34: Parámetro Operacionales Planta OI

N° ítem	Cantidad	Ítem	Caudal m3/h		Presión (bar)		Tamaño partícula (µm)		Pérdida presión (bar)
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida	
1	1	Bomba Filtro Multimedia	200,0	200,0	1,0	4,6	...	...	...
2	2	Filtro Multimedia	200,0	200,0	4,6	3,6	> 5	50	1,0
3	1	Bomba Filtro Basket	200,0	200,0	3,6	4,0	...	...	...
4	2	Filtro Basket	200,0	200,0	4,0	3,0	50,0	34	1,0
5	1	Bomba Unidad Ultrafiltración	202,5	202,5	3,0	3,4	...	...	...
6	1	Unidad de Ultrafiltración	202,5	200,0	3,4	2,4	34,0	03	1,0
7	1	Tanque Alimentacion OI	200,0	200,0	2,4	1,0	0,0	0	1,4
8	1	Bomba Alimentación OI	200,0	200,0	1,0	3,4	...	...	...
9	1	Filtro Micro Cartucho	200,0	200,0	3,4	2,4	> 5	5	1,0

0									
10	1	Bomba OI HP	61,0	61,0	2,4	40,2	...	...	...
11	1	Bomba Booster	139,1	139,1	35,9	40,2	...	...	...
12	1	Sistema Membrana OI	200,0	60,0	40,2	0,5	< =5	...	...
13	3	Intercambiador de Presión (Alimentación)	139,1	139,1	2,4	35,9	...	...	...
14	3	Intercambiador de Presión (Rechazo)	140,0	140,0	36,8	1,4	...	...	...
15	1	Bomba Circulación post OI (Permeado)	60,0	60,0	0,5	1,0	...	...	...
16	2	Tanque Almacenamiento Permeado	60,0	60,0	1,0	1,0	...	...	...
17	1	Bomba a Post Tratamiento	60,0	60,0	1,0	2,1	...	...	...
18	1	Sistema Post Tratamiento	60,0	60,0	...	...	...	...	...

Fuente: Elaboración propia

5.7.2 Destilación Súbita Multietapas (MSF)

Los primeros procesos modernos de desalación desarrollados a gran escala fueron la desalación súbita multietapa (MSF) a mediados del siglo XX en EE.UU. (1955). (Breve Historia de La Desalación, 2015)

Este método había sido utilizado con anterioridad, pero con el fin de obtener sal a partir del residuo de salmuera.

La primera planta se construyó en Kuwait en 1959, con una capacidad de 4560 m³/d y 19 etapas. Más adelante fue incrementando su capacidad mediante unidades individuales capaces de producir desde 30000 hasta 75000 m³/d cada una, como la planta de Al-Jubail, en Arabia Saudí, que tiene una capacidad total de 908500 m³/d.



Figura 57: Planta de desalación MSF Al-Jubail (Arabia Saudí)

Fuente:(Modelo de Un Sistema de Desalinizacion de Agua de Mar, 2013)

En el sistema MSF el agua que será desalada se calienta en un contenedor a una presión mínima, lo que permite la evaporación súbita. Este paso se repite en todas las etapas en las que la presión va en descenso según las diversas condiciones.

En unos de los procesos más utilizados en el mundo, especialmente en Medio Oriente. Es especial para trata aguas con alta temperatura, salinidad y contaminación. A pesar de que su capacidad de producción es una de las más grandes, su consumo energético también es alto, lo que hace que sea más factible utilizarlo en lugares donde la energía tenga un bajo costo.

Los principales elementos de una planta MSF, se componen de lo siguiente:

- Pre-tratamiento
- Evaporador multietapas MSF (secciones de recuperación y rechazo de calor)
- Calentador principal (intercambiador de calor)
- Eyectores de vacío

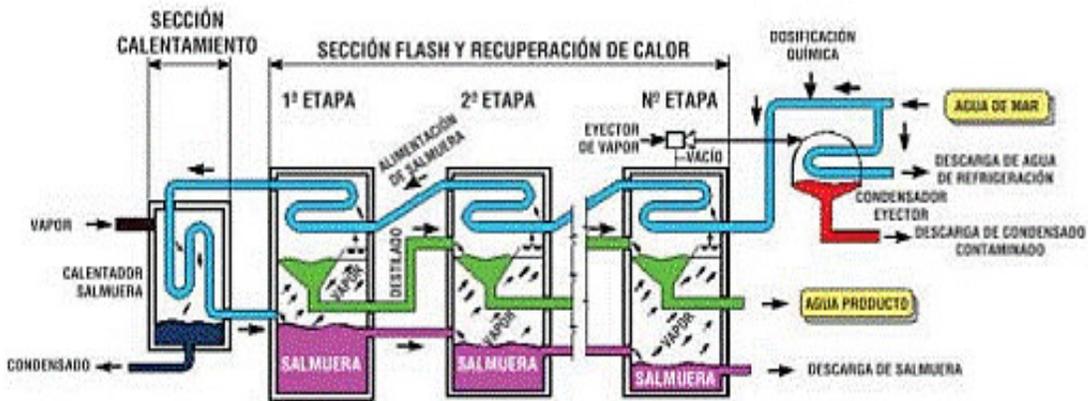


Figura 58: Proceso de Evaporación Súbita Múltiple Etapa (MSF)

Fuente: (Ros Moreno, 2011)

Como se muestra en la figura anterior, la planta cuenta con una serie de zonas llamadas etapas, estas contienen un intercambiador de calor y un condensador. Esta serie de procesos cuenta con un extremo frío y un extremo caliente, las etapas de en medio poseen una temperatura intermedia. Cada etapa tiene una presión en específico, que corresponden a los puntos de ebullición de agua según la temperatura de cada etapa. Pasado el extremo caliente hay un contenedor llamado la salmuera calentador.

Tabla 35: Ventajas y desventajas de la destilación por MSF

Ventajas	Desventajas
Aplicable a proyectos de mediana y gran escala	Mantenimiento costos de maquinaria
A mayor etapas en el proceso, mayor eficiencia en sus resultados	Genera residuos con alto contenido mineral y requieren manejo especial
	Utiliza gran cantidad de energía

Fuente: Elaboración Propia

Como todo método de desalación, se presentan aspectos positivos y negativos, pero aun así es uno de los más eficientes al momento de destilar agua para convertirla en agua potable.

Un 15% del agua total que fluye por las etapas del sistema es evaporada, sin importar los grados de las temperaturas utilizadas. Con el aumento de la temperatura hay crecientes dificultades de la formación y la corrosión escala. La temperatura máxima es de 120 °C, aunque a veces se pueden necesitar temperaturas inferiores a 70 °C.²⁴



Figura 60: Planta de desalinización MSF en Jebel Ali G estación, Dubai

Fuente: (Multi Stage Flash Desalination Plant at Jebel Ali G Station, 2013)

²⁴ (Ros Moreno, 2011)

Otra gran planta se encuentra ubicada en Dubai, construida en el año 2003. Tales plantas pueden operar a 23-27 kWh / m³ (aprox. 90 MJ / m³) de agua destilada.(Multi Stage Flash Desalination Plant at Jebel Ali G Station, 2013)

5.8 Normativa Aplicable

En el presente capítulo se hace referencia a las autorizaciones y permisos que podrían resultar necesarias para la operación propiamente de la actividad de desalinización de agua de mar, esto es: Ley Base Generales del Medio ambiente, la RCA, algunos Permisos Ambientales Sectoriales (“PAS”), Concesión Marítimas y Norma de Calidad y Muestreo del agua potable.

5.8.1 Norma Chilena de Calidad y Muestreo de Agua Potable

La Norma Nch409/1 Of.2005 establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en todo el territorio nacional. Los parámetros para definir los requisitos se agrupan dependiendo del tipo, los cuales son:

Tipo I Parámetros microbiológico y de turbiedad;

Tipo II Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud;

Tipo III Elementos radiactivos;

Tipo IV Parámetros relativos a las características organolépticas;

Tipo V Parámetros de desinfección.

Estos criterios son aplicados al agua potable que provenga de cualquier servicio de abastecimiento.²⁵

²⁵ (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

Tabla 36: Requisitos Físicos

REQUISITO	UNIDAD	LIMITE MÁXIMO
Turbiedad	Unidades nefelométricas (formazina)	5
Color verdadero	Unidades de escala platino-cobalto	20
Olor	---	Inodora
Sabor	---	Insípida

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

Tabla 37: Requisitos Químicos

SUBSTANCIA	EXPRESADO COMO	LIMITE MÁXIMO
Amoniaco	N	0,25
Arsénico	As	0,05
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN-	0,2
Cloruros	Cl	250*
Cobre	Cu	1,0*
Compuestos fenólicos	Fenol	0,002
Cromo hexavalente	Cr	0,05
Detergente	SAAM	0,5
Flúor	F-	1,5
Hierro	Fe	0,3*
Magnesio	Mg	125
Manganeso	Mn	0,10*

Mercurio	Hg	0.001
Nitratos	N	10*
Nitritos	N	1
Plomo	Pb	0,05
Residuos sólidos filtrables	-	1000*
Selenio	Se	0,01
Sulfatos	SO4-2	250*
Zinc	Zn	5,0*

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

Tabla 38 : Requisitos Radioactivos

ELEMENTOS RADIOACTIVOS	LIMITE MÁXIMO
	(pCi/l*)
Estroncio 90	10,0
Radium 226	3,0
Actividad Beta total (excluyendo Sr-90, Ra-226 y otros emisores alfa)	1000,0
Actividad Beta total (incluyendo Sr-90, corregida para el K-40 y otros)	50,0
Actividad Alfa total (incluyendo Ra-226 y otros emisores alfa)	15,0

Fuente: (Instituto Nacional de Normalización, 2005)

Por otra parte, la Norma Nch.409/2 Of.2005, establece los procedimientos de inspección y muestreo puntuales, a través de frecuencia de muestreo, lugar y extracción de la muestra, para verificar el cumplimiento de la NCh.409/1 Of.2005 de los requisitos antes mencionados.²⁶

²⁶ (Instituto Nacional de Normalización - INN, 2006)

5.8.2 Ley Base Generales del Medio Ambiente

Esta ley N°19.300 tiene como objetivo regular “El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental se regularán por las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia.”.²⁷

La construcción de una planta de desalinización tiene un efecto directo sobre el medio ambiente marino existente, en el cual se incluyen los océanos, mares y las zonas costeras adyacentes que forman un todo integrado y que constituyen un componente esencial del sistema mundial de sustentación de la vida, tal como ha sido reconocido en el Programa 21 de las Naciones Unidas.²⁸ Mediante su artículo 10 del cuerpo de la ley, establece “los proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental, en cualesquiera de sus fases, que deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto ambiental (SEIA)”, el cual se promulga el Decreto N°40 de Reglamento de SEIA en 2012 y la creación de las instituciones ambientales pertinentes mediante la Ley N° 20.417, que *crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente el año 2010.*²⁹

5.8.3 Reglamento del SEIA y RCA

En el artículo 3 del DTO N°40 al igual que el artículo 10 pero más específico, se categoriza una serie de proyectos o actividades, en el caso de la industria de la desalinización de agua de mar se rige por lo dispuesto en las tipologías indicadas a continuación:

²⁷ (Normativo & Nacional, 2014)

²⁸ (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, 1992)

²⁹ (Normativo & Nacional, 2014)

- a) Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de aguas;
- o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos;

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, considerando los procesos intermedios, y que atiendan a una población igual o mayor a diez mil (10.000) habitantes.

o.6 Emisarios Submarinos.³⁰

Los proyectos pueden entrar a evaluación por más de una de las tipologías señaladas, pero siempre identificada con una tipología primaria. En este caso, el proyecto de desalinización estaría bajo la tipología primaria de la letra o.3 y con tipología secundaria la letra o.6 y a).

En efecto, en el Reglamento del SEIA no existe una tipología de ingreso específica para este tipo de actividad, sin perjuicio, la mayoría de las plantas de desalación que en la actualidad si cuentan con sus RCA es debido a que estas han sido evaluadas a causa de otra categorización, lo cual es frecuente, sobre todo, para el caso de la minería y centrales de generación de energía. En este caso, la planta desalinizadora tiene como objetivo el abastecimiento de una

³⁰ (Normativo & Nacional, 2014)

cantidad de población de agua potable cae dentro de la categoría ante mencionada.

En el artículo 11 al igual que en los artículos 5 al 10 del Reglamento del SEIA, pero en mayor detalle, establece “Los proyectos o actividades enumerados en el artículo precedente requerirán la elaboración de un Estudio de Impacto Ambiental, si generan o presentan a lo menos uno de los siguientes efectos, características o circunstancias:

- a) Riesgo para la salud de la población, debido a la cantidad y calidad de efluentes, emisiones o residuos;
- b) Efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos el suelo, agua y aire.³¹

³¹ (Normativo & Nacional, 2014)

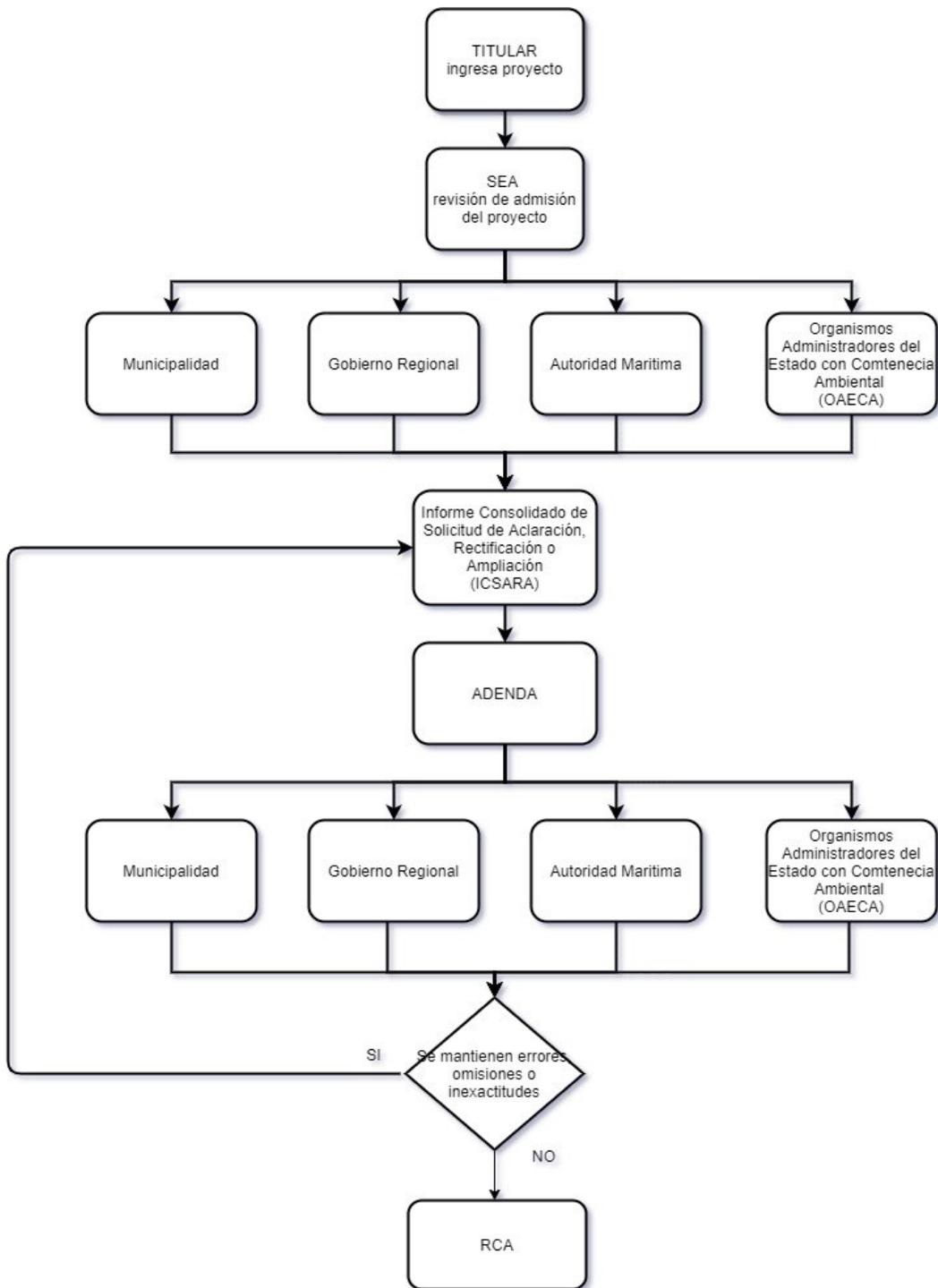


Figura 59 : Diagrama Resumen de Estudio de Impacto Ambiental

Fuente:(Servicio de Evaluación Ambiental, 2020)

El proyecto es ingresado al SEIA y revisado por él SEA para ver su ingreso, luego es enviado a todos los organismos administradores con competencia ambiental (OAECA) junto a la Municipalidad, Gobierno Regional y Autoridad Marítima, donde estos generan un documento (ICSARA) con todos los pronunciamientos sectoriales que se deben subsanar para continuar con el proyecto y este es respondido por el titular del proyecto a través de un documento (ADENDA).

Luego, él SEA vuelve a distribuir el documento con las respuestas realizadas a los organismos competentes. Si el proyecto cuenta con falencias, errores u omisiones se vuelve a realizar el proceso anterior, si en el caso de ser aprobado el proyecto se entrega la Resolución de Calificación Ambiental correspondiente. Este documento contiene las medidas de mitigación, compensación y reparación que el titular debe cumplir durante la ejecución del proyecto.

5.8.4 Permisos Ambientales Sectoriales

Para el desarrollo de la actividad de desalación debiese contarse con, a lo menos, los siguientes PAS, de conformidad a lo dispuesto en el Reglamento del SEIA, donde este permiso tiene un objetivo de protección ambiental, el cual:

“El listado de los PAS se encuentra en los artículos 111 y siguientes del D.S. N° 40, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (RSEIA). Las normas relativas a los PAS se estructuran de la siguiente manera:

- i. El nombre del permiso.
- ii. La norma sectorial en que se funda, esto es, el artículo y cuerpo normativo que crea el permiso.

- iii. Los requisitos para su otorgamiento, que son aquellos criterios que permiten determinar si se resguarda el objeto de protección ambiental del permiso.
- iv. Los contenidos técnicos y formales que deben presentarse para acreditar su cumplimiento. Corresponden a los antecedentes que el titular debe entregar para determinar si se da cumplimiento al requisito de otorgamiento.”³²

En primera instancia, se requiere el PAS 115 de contenido únicamente ambiental, para introducir o descargar materias o sustancias nocivas o peligrosas de cualquier especie a las aguas sometidas a la jurisdicción nacional, que se encuentra establecido en el artículo 140 del Decreto Supremos N°1 de 1992 del Ministerio de Defensa Nacional, Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática, el que será otorgado en la medida no generen efectos adversos en las especies hidrobiológicas o en los ecosistemas acuáticos. Lo anterior, en cuanto a la evacuación de efluentes o aguas de rechazo generados por el proceso de desalación al mar bien podría quedar categorizados como sustancia nociva o peligrosa.

En segundo lugar, se requerirá el PAS de contenido mixto para la construcción de ciertas obras hidráulicas que se establece por el artículo 294° del D.F.L. N° 1.122, de 1981, del Ministerio de Justicia, Código de Aguas, que dispone:

“Requerirán la aprobación del Director General de Aguas, de acuerdo al procedimiento indicado en el Título I del Libro Segundo, la construcción de las siguientes Obras:

³² (SEA, 2010)

- b) Los acueductos que conduzcan más de dos metros cúbicos por segundo;
- c) Los acueductos que conduzcan más de medio metro cúbico por segundo que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite”³³

Este permiso se otorgará en la medida que no se produzca contaminación de las aguas.

De igual manera, podrá requerirse también el PAS mixto para subdividir y urbanizar terrenos rurales o para construcciones fuera de los límites urbanos; establecida en el artículo 160 del Reglamento del SEIA, debido a la calificación de instalaciones industriales o bodegaje que establece la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC), que establece en el punto 5.2 Descripción de las acciones y obras a la que aplica el PAS, lo siguiente:

“De acuerdo al inciso primero del artículo 160 del Reglamento, este PAS aplica en dos grupos de situaciones:

- b) Las construcciones (incluso aquellas de carácter temporal o provisorio) de los siguientes tipos, fuera de los límites urbanos:
 - industriales,
 - de equipamiento,
 - turismo y
 - poblaciones.”³⁴

Es precisamente por tratarse de un proceso productivo de carácter industrial de producción de agua desalada, el cual deberá emitirse durante el proceso de

³³ (Thompson et al., 2007)

³⁴ (Servicio de Evaluación Ambiental, 2019)

evaluación de impacto ambiental de la actividad y solo en la medida que ésta se emplace en áreas reguladas por un instrumento de planificación territorial en el cual se imponen restricciones al uso del suelo en función de dicha calificación; el permiso para la construcción de cualquier obra destinada a la evacuación de residuos industriales, que se otorgará en la medida que la calidad del agua del cuerpo receptor no ponga en riesgo la salud de la población; entre otros aspectos.

5.8.5 Concesiones Marítimas

Para que el agua de mar llegue a la planta desalinizadora, debe ser conducida a través de obras que atraviesan distintos bienes, como pueden ser porciones de playas de mar, espacios fiscales adyacentes a estos y hasta terrenos particulares antes de llegar a la planta, las cuales normalmente se sitúan en espacio de dominio público. Como algunos de estos terrenos, como playa, fondo de mar y porciones de agua, son de bienes administrados por el Ministerio de Defensa Nacional pueden ser entregados en concesión a personas naturales o jurídicas.

Dicho esto, cualquier persona, empresa, organización o servicio público que desee desarrollar un proyecto en dichos sectores, debe contar con las autorizaciones correspondientes otorgadas por la institución antes mencionada y que se denomina Concesiones Marítimas, las cuales están reguladas, por dos cuerpos normativos, los cuales son el Decreto con Fuerza de ley N° 340 sobre Concesiones Marítimas y el D.S. N° 9, de 2018, del Ministerio de Defensa Nacional, Sustituye Reglamento sobre Concesiones Marítimas.

Conforme al artículo 2 del D.F.L N°340 sobre Concesiones Marítimas, el estado tiene la facultad de otorgar Concesiones Marítimas, al señalar que: “Es facultad privativa del Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría de Marina, conceder

el uso particular en cualquier forma, de las playas y terrenos de playas fiscales dentro de una faja de 80 metros de ancho medidos desde la línea de más alta marea de la costa del litoral; como asimismo la concesión de rocas, fondos de mar, porciones de agua dentro y fuera de las bahías; y también las concesiones en ríos o lagos que sean navegables por buques de más de 100 toneladas, o en los que no siéndolo, siempre que se trate de bienes fiscales, en la extensión en que estén afectados por las mareas, de las playas de unos y otros y de los terrenos fiscales riberaños hasta una distancia de 80 metros medidos desde donde comienza la ribera.”³⁵

Lo anterior significa que las obras referidas a una planta desaladora, que impliquen el uso del bien marino, necesariamente requerirán el otorgamiento de una autorización que permite el uso y goce de esos bienes, el cual sería la concesión marítima, que el artículo 3 del D.F.L N°3, define como “Son concesiones marítimas, las que se otorgan sobre bienes nacionales de uso público o bienes fiscales cuyo control, fiscalización y supervigilancia corresponde al Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría de Marina, cualquiera que sea el uso a que se destine la concesión y el lugar en que se encuentren ubicados los bienes.”³⁶

Para acceder a esta concesión, el titular o interesado debe presentar su solicitud en la Capitanía de Puerto con jurisdicción en el sector donde desea realizar el proyecto. Dicho requerimiento debe contener el formulario correspondiente, un plano y los antecedentes indicados en el Párrafo 2°, artículo 36 del Decreto Supremo N°9/2018 del Ministerio de Defensa Nacional, Subsecretaría para las Fuerzas Armadas. Sustituye Reglamento sobre Concesiones Marítimas D.S N°2/2005. Presentado los requerimientos, se ingresa al Sistema Integrado Administración de Borde Costero (S.I.A.B.C)

³⁵ (Normativo & Nacional, 2014)

³⁶ (Normativo & Nacional, 2014)

donde en un plazo máximo de 20 días se dará la resolución con respecto a lo solicitado.

Estas Concesiones Marítimas tienen clasificaciones según sus envergaduras del proyecto, las cuales se establecen según el artículo 6 el D.S N°9 del Reglamento de Concesiones Sanitarias, donde:

“Criterios de clasificación. Para efectos de su tramitación, las concesiones marítimas mayores y menores se clasificarán, considerando el plazo de duración, el cual no podrá exceder de 30 años, y la cuantía de los capitales a invertir, del modo siguiente:

- a) Concesión marítima mayor: aquella cuyo plazo de otorgamiento exceda de 10 años o involucre una inversión superior a las 2.500 Unidades Tributarias Mensuales (UTM).
- b) Concesión marítima menor: aquella que se otorga por un plazo superior a 1 año y hasta 10 años e involucra una inversión igual o inferior a las 2.500 Unidades Tributarias Mensuales (UTM).³⁷

Con respecto a las características y las dimensiones de una planta desaladora, correspondería a una concesión marítima mayor debido a que es una actividad en el que se estima por un plazo no inferior a 30 años. Esta concesión es exigida como informada durante la Evaluación de Impacto Ambiental.

³⁷ (Normativo & Nacional, 2014)

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La investigación que se llevó a cabo entrega información técnica, legal y económica, para instalar una planta de desalinización de agua de mar, en la comuna de El Tabo.

Analizando las características que presenta la localidad, se establecieron las recomendaciones de ubicación, selección de metodología, aspectos legales que se deben cumplir y uso de energía de acuerdo al clima que se presenta. Todas estas para la correcta instalación de la planta.

Ambas opciones recomendadas cumplen con la capacidad de producción de agua, necesaria para abastecer la comuna, son muy utilizadas a nivel mundial y no presentan problemas a la hora de necesitar fabricantes.

Se seleccionan dos métodos de desalinización, uno más utilizado en Chile que el otro, Destilación Súbita Multietapas (MSF) y Osmosis Inversa, ambos presentan sus fortalezas y sus debilidades. Sin embargo, el que más se utiliza a nivel nacional es el de osmosis. Estos procesos entregan agua destilada y posteriormente se le realiza un proceso de potabilización, para que sea apta para el consumo humano, los parámetros que debe cumplir esta son entregados en la Norma Chilena N°409.

También se entregaron tres posibles zonas de instalación, pero solo una cumple con el criterio más importante, que es la cercanía a la materia prima, que en este caso sería el agua de mar. A pesar de lo anterior, en esta zona, según la información obtenida durante la investigación, se encuentra instalada una pesquería, pero no se tiene conocimiento si está en funcionamiento.

Durante la investigación fue más accesible obtener datos del proceso de osmosis inversa, ya que a nivel mundial también es uno de los métodos más

utilizado, por lo cual se logró entregar estimaciones económicas de la instalación y producción de esta planta.

7. BIBLIOGRAFIA

- ¿Cómo funciona un sistema fotovoltaico de autoconsumo? - HelioEsfera. (, November). HelioEsfera. <https://www.helioesfera.com/como-funciona-un-sistema-fotovoltaico-de-autoconsumo/>
- ACNUR Comité Español. (2019, February). *Causas y consecuencias de la escasez de agua en el mundo - ACNUR*. UNHCR ACNUR. https://eacnur.org/blog/escasez-agua-en-el-mundo-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/
- Acuña Bravo, S. J., Marchant, C. A., Torrealba, M. G., & Vallejos Aguilar, W. (2011). *Planta desalinizadora de agua de mar. Aplicación en Chile*. [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/59B9B951B2F96DF80525811A0071E7FE/\\$FILE/A73439405-PLANTAS-DESALINIZADORAS-DE-AGUA-DE-MAR-APLICACION-EN-CHILE.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/59B9B951B2F96DF80525811A0071E7FE/$FILE/A73439405-PLANTAS-DESALINIZADORAS-DE-AGUA-DE-MAR-APLICACION-EN-CHILE.pdf)
- Antonio, T. S. (2020). *Proyecto de agua potable rural en El Tabo: Autoridades insistieron a ministro de Bienes Nacionales agilizar regularización de terrenos | Canal2*. Televisión San Antonio.
- Asociación danesa de la industria eólica. (2003, July 29). *Tamaño de aerogeneradores*. Danish Wind Industry Association. <http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpowerweb/es/tour/wtrb/size.htm>
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2017). *Reportes - Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*.
- Bloomberg. (2019, August 9). *Los países con más riesgo de una crisis del agua: Chile ocupa el lugar 18*. El Mostrador. <https://www.elmostrador.cl/noticias/sin-editar/2019/08/09/los-paises-con-mas-riesgo-de-una-crisis-del-agua-chile-ocupa-el-lugar-18/>
- Breve historia de la desalación*. (2015, June 3). Abengoa. <http://www.laenergiadelcambio.com/breve-historia-de-la-desalacion/>
- Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., & Mann, M. E. (2020). Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019. *ADVANCES IN ATMOSPHERIC SCIENCES*, 37, 137–142. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

- Cortes Catalina. (2018, December 28). *Megasequía, la historia continúa – Meteochile Blog*. <http://blog.meteochile.gob.cl/2018/12/28/megasequia-la-historia-continua/>
- Cortés, F. I. A. (2000). *Desalinización del agua*. XV, 24–49.
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. (1992). *División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas*.
- Eficiencia Energética. (2015, April 2). *Constante Solar*. <https://certificacionenergetica.info/constante-solar/>
- El agua es un elemento imprescindible • Tratamientos de agua · Osmosis Inversa · Descalcificadores*. (2018). Aqua Salud. <https://www.aquasalud.com/227-el-agua-es-un-elemento-imprescindible.html>
- Equipo de redacción profesional. (2017). *Partes del aerogenerador*. Partesdel.Com. <https://www.partesdel.com/aerogenerador.html>
- Estudio advierte sobre niveles crecientes de salmuera tóxica por plantas desalinizadoras a nivel mundial*. (2019, January 20). Resumen. https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:uEPViF_u3QUJ:https://resumen.cl/articulos/estudio-advierte-sobre-niveles-crecientes-salmuera-toxica-plantas-desalinizadoras-nivel-mundial+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=cl
- Fundación Aqueae. (2014). *Principales datos del agua en el mundo*. Fundación Aque. <https://www.fundacionaqueae.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/>
- Fundación Chile. (2018). *Radiografía del agua - Brecha y riesgo hídrico en Chile*. <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/05/radiografia-del-agua.pdf>
- Futuro Renovable. (2015, April). *Desaladora -proceso- IMg El Mercurio | Futuro Renovable*. Futuro Renovable .
- García Cabezas, N. (2020, February 11). *La guerra del agua: países con mayor escasez de agua | Ayuda en Acción*. Ayuda En Acción. <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/sostenibilidad/guerra-agua-paises-escasez/>
- García Pérez, A. (2017, October 6). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA*. Docplayer. <https://docplayer.es/83515673-Universidad-politecnica-de-cartagena.html>
- Global Climate Change. (2020). *Las causas del cambio climático*. NASA.

<https://climate.nasa.gov/causas/>

Gobierno de Chile. (2015, January). *Gob.cl - Artículo: Cuidemos El Agua: Cifras Y Recomendaciones.*

Gracia, N. (2017). *Análisis económico de aspectos asociados a la desalinización del agua en la minería.* 56, 7. <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmID=114031&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION>

Hernández González, A. (n.d.). *Trabajo Fin de Grado* [Universidad de La Laguna]. Retrieved August 14, 2020, from <https://docplayer.es/65375486-Trabajo-fin-de-grado.html>

Instituto Nacional de Normalización. (2005). *Norma Chilena Oficial NCh 409/1 of. 2005.*

Instituto Nacional de Normalización - INN. (2006). *NCh 409/2.Of2004. Agua potable - Parte 2: Muestreo.*

Khawaji, A. D., Kutubkhanah, I. K., & Wie, J. M. (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, 221(1–3), 47–69. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.067>

La desconocida historia de las primeras plantas desaladoras solares del mundo en el desierto de Atacama. (2017, April 9). <http://piensachile.com/2017/04/la-desconocida-historia-las-primeras-plantas-desaladoras-solares-del-mundo-desierto-atacama/>

Luo, X., Ma, X., Xu, Y. F., Feng, Z. K., Du, W. P., Wang, R., & Li, M. (2018). Solar water heating system. In *Handbook of Energy Systems in Green Buildings*. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49120-1_32

Maldonado González, S. M., & López Morales, E. E. (2013). *TESIS PROFESIONAL P R E S E N T A N: "DESALACIÓN DE AGUA DE MAR Bosques de Aragón, Estado de México, Febrero del 2013 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN.*

Mateo Montero Varela. (2014, February 17). *Optimización energética en plantas desaladoras.* Mateo Montero Varela. <https://www.eoi.es/blogs/mateomontero/2014/02/17/optimizacion-energetica-en-plantas-desaladoras/>

Ministerio de Energía. (2013). *El carbón como fuente energética en el mundo.* Educar Chile. <https://www.aprendeconenergia.cl/el-carbon-como-fuente-energetica-en-el-mundo/>

- Ministerio de Energía. (2020). *Evaluación del Recurso Eólico*. http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/Reportes//minenergia_eolico_5f36766381e60/informe_eolico.pdf
- Ministerio de Energía, Sociedad Alemana para la, & Cooperación Internacional (GIZ). (2019). *Índice de Precios de Sistemas Fotovoltaicos (FV) conectados a la red de distribución comercializados en Chile*. NAMA CHILE. http://www.minenergia.cl/archivos_bajar/2020/02/Factsheet_IP_FV_Final.pdf
- Ministerio de Obras Públicas. (2013). *Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2012 - 2025*. https://www.mop.cl/Documents/ENRH_2013_OK.pdf
- Modelo de un sistema de desalinización de agua de mar*. (2013). <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70483/fichero/1.CAPITULO.1.INTRODUCCION.pdf>
- Montava, J. C. (2016). *Diseño de una planta desalinizadora con sistema de osmosis inversa para producir 20000 m³ /día MEMORIA PRESENTADA POR [Universidad Politécnica de Valencia]*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74584/COLOMINA - Dise%F1o de un planta desalinizadora con sistema de osmosis inversa con producci%F3n de 20....pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Multi Stage Flash Desalination Plant at Jebel Ali G Station*. (2013). https://en.wikipedia.org/wiki/File:Multi_Stage_Flash_Desalination_Plant_at_Jebel_Ali_G_Station
- Municipalidad de El Tabo. (2016, August). *Plano Regulador*. Municipalidad de El Tabo.
- National Centers For Environmental Information. (2019). *Global Climate Report - Annual 2019*. NASA. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913#gtemp>
- National Centers for Environmental Information (NCEI). (n.d.). *Global Temperature and Precipitation Maps*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Retrieved August 14, 2020, from [https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/global-maps/201013?products\[\]=map-land-sfc-mntp&products\[\]=map-blended-mntp&products\[\]=map-prcp&products\[\]=map-percentile-mntp&products\[\]=map-percentile-prcp&products\[\]=map-prcp-percent#global-maps-select](https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/global-maps/201013?products[]=map-land-sfc-mntp&products[]=map-blended-mntp&products[]=map-prcp&products[]=map-percentile-mntp&products[]=map-percentile-prcp&products[]=map-prcp-percent#global-maps-select)
- National Centers For Environmental Information (NCEI). (2010). *Global Temperature and Precipitation Maps*. NOAA.

[https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/global-maps/201013?products\[\]=map-land-sfc-mntp&products\[\]=map-blended-mntp&products\[\]=map-prcp&products\[\]=map-percentile-mntp&products\[\]=map-percentile-prcp&products\[\]=map-prcp-percent#global-maps-select](https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/global-maps/201013?products[]=map-land-sfc-mntp&products[]=map-blended-mntp&products[]=map-prcp&products[]=map-percentile-mntp&products[]=map-percentile-prcp&products[]=map-prcp-percent#global-maps-select)

Normativo, T., & Nacional, C. (2014). Biblioteca del Congreso Nacional de Chile - documento generado el 17-Oct-2014. *Biblioteca Del Congreso Nacional*, 17–20.

Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Informe sobre la disparidad en las emisiones de 2019*. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30798/EGR19ESS_P.pdf?sequence=17

Pachauri, R. K., Meyer, L., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Jiang, K., Jiménez Cisneros México, B., Kattsov, V., Lee, H., Minx, J., Mulugetta, Y., Brinkman, S., van Kesteren, L., Leprince-Ringuet, N., & van Boxmeer, F. (2014). *Cambio climático 2014 Informe de síntesis*. <http://www.ipcc.ch>.

Paco López. (2016, October). *Expertos mejoran el rendimiento de la desalinización de agua mediante membranas | Aquapurif*. Aquapurif.

Pure Aqua. (n.d.-a). *Filtros Multimedia 1 x 500, 1 x 400 GPM*. Pure Aqua. Retrieved August 14, 2020, from <https://es.pureaqua.com/filtros-multimedia-1-x-500-1-x-400-gpm-irak/>

Pure Aqua, I. (n.d.-b). *Sistema Ósmosis Inversa Industrial para Dezalinizar Agua de Mar*. Pure Aqua, Inc. Retrieved August 14, 2020, from <https://es.pureaqua.com/sistemas-osmosis-inversa-industrial-para-desalinizar-agua-de-mar/>

Pure Aqua, I. (n.d.-c). *Sistemas Industrial de Ultrafiltración*. Pure Aqua, Inc. Retrieved August 14, 2020, from <https://es.pureaqua.com/sistema-industrial-de-ultrafiltracion/>

Reporte Minero. (2019, October 8). *Chile implementará su primera planta desaladora estatal*. Reporte Minero. <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2019/10/chile-implementara-su-primera-planta-desaladora-estatal>

Riesco, J. (2009). *planta desaladora arica [Pda]*.

Rojas-Delgado, M., López-Sandoval, E., & Zaldívar-Peña, S. (2007). Desalación del agua de mar para uso industrial. *Ingeniería Industrial*, 0(025), 179–203.

<https://doi.org/10.26439/ing.ind2007.n025.619>

Ros Moreno, A. (2011, June 13). *Destilación súbita por efecto flash (destilación súbita multietapa, MSF)*. Mailxmail.Com. <http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-1-4/destilacion-subita-efecto-flash-destilacion-subita-multietapa-msf>

SEA. (2010). *Permisos y Pronunciamientos ambientales sectoriales*. SEA.

Sergio Cárdenas. (2016, March). *Vecinos acusan que agua de laguna El Peral de El Tabo es saqueada por Centro Turístico*. El Ciudadano.

Servicio de Evaluación Ambiental. (2019). *Guía Trámite PAS Artículo 160 Reglamento del SEIA*.

Servicio de Evaluación Ambiental. (2020). *SEA Chile*. <https://www.sea.gob.cl/sea/declaracion-estudio-impacto-ambiental>

Subsecretaría de energía renovable, & Secretaría de estado de la energía. (2019). *CURSO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE BIODIGESTIÓN DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA PRÓLOGO UNIDAD I: CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍAS RENOVABLES EL CAMBIO CLIMÁTICO*. <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/08/Módulo-1-Biodigestión-Introducción.pdf>

Terram, F. (2016, March). *Desastre natural en El Tabo: laguna El Peral tiene sus días contados – Fundación Terram*. Fundación Terram.

Thompson, K., Ritchie, D., & Dennis, S. (2007). *PAS 155 Obras Hidráulicas. Distribución*.

Uchoa, P. (2019, August 6). *¿Cuán probable es que tu país sufra escasez de agua?* . BBC News Mundo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49251961>

Universal Water Treatment. (n.d.). *Energy Recovery ERI*. Universal Water Treatment. Retrieved August 14, 2020, from <http://universalwatertreatment.com/eri/>

Villagrán Morales, S. I. (2017). *Factibilidad de desalinización de agua de mar para pequeñas comunidades del norte de Chile*. <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145387>