



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES Y BIOTECNOLOGÍA

**“ESTUDIO SOBRE EL TRATAMIENTO, MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LAS
AGUAS SERVIDAS PRODUCIDAS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE
PROYECTOS SOLARES EN EL NORTE Y CENTRO DE CHILE”.**

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los
requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

MARCELLO SIMONE SILENZI JIMÉNEZ

Director del Seminario de Título: Gustavo Salinas Hernández
Patrocinante: Dr. Álvaro Aliaga Cerón

Enero 2023
Santiago – Chile



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS AMBIENTALES Y BIOTECNOLOGÍA

INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TITULO

“ESTUDIO SOBRE EL TRATAMIENTO, MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LAS AGUAS SERVIDAS PRODUCIDAS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS SOLARES EN EL NORTE Y CENTRO DE CHILE”.

Se informa a la Escuela de Ciencias Ambientales y Biotecnología de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Chile que el Seminario de Título, presentado por el Sr.

Marcello Simone Silenzi Jiménez

Ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación, en cumplimiento parcial de los requisitos para optar al Título de Químico Ambiental

Director Seminario de Título: Gustavo Salinas Hernández

Patrocinante: Dr. Álvaro Aliaga Cerón

Comisión Revisora y Evaluadora

Presidente Comisión: Dra. Isel Cortés

Evaluador: Dr. Carlos Rojas

Santiago de Chile, 16 de enero de 2023

BIOGRAFÍA



Marcello Simone Silenzi Jiménez

Marcello nació en Santiago el 24 de abril de 1995. Cursó toda su colegiatura en Liceo Experimental Manuel de Salas, donde desarrolló su interés por las ciencias y matemática desde sus primeros años. Durante ese periodo también comenzó la inclinación por el cuidado del medio ambiente gracias a charlas y talleres a las que asistió. En el año 2015 ingresó en la carrera de Química Ambiental de la Universidad de Chile, con el fin de aportar con conocimientos al cuidado de nuestros ecosistemas y contribuir al área de las ciencias ambientales en un futuro.

AGRADECIMIENTOS

Ha sido un largo camino, más de lo que uno se esperaba, pero del cual debo agradecer a cada persona que fue parte de este proceso que está llegando a su fin. En primer lugar, agradecer a mi profesor guía Gustavo Salinas, por su gran paciencia y apoyo durante los meses de trabajo; no fui un estudiante fácil de “dirigir”, más siempre tuvo la mejor disposición de atender y responder las consultas que surgían. Agradecer también a mi profesor patrocinante Álvaro Aliaga, por apoyar este proyecto y brindarme ayuda desde un inicio, y además al comité académico de la carrera de Química Ambiental, a quienes agradezco su vocación por la ciencia y sus conocimientos que fueron entregados año tras año.

Agradecer también a mi familia, a mi madre Marcela y mi abuela Sonia, las cuales han sido mi gran soporte y me han brindado amor y cariño durante toda mi vida. Así también a Ferguson, mi gran compañera y a la cual le debo mucho por alentarme, ayudarme y amarme cuando más lo requerí en estos meses de intermitente trabajo. También agradecer a mis mascotas Minino y Olivia, quienes fueron mi gran compañía y forman parte de este proceso; y a mis amigos y amigas por ofrecerme espacios de contención y entretenimiento, y en especial a Jose, quien me acompañó en largas jornadas de estudio y me alentó a avanzar cuando las lagunas aparecían.

Por último, agradecer a la gente que conocí en la Universidad, a profesores y ayudantes, tíos y tías del kiosco norte y fotocopias, compañeros y compañeras de la carrera y afines; a todas ellas, les agradezco por hacer la estadía más amena y enriquecedora.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes Generales.....	1
1.2 Energía Solar.....	3
1.3 Planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS).....	6
1.4 Contexto en Chile.....	8
1.5 Planteamiento del problema.....	11
1.6 Objetivo General.....	12
1.7 Objetivos Específicos.....	13
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
2.1 Caracterización del área de estudio y selección de proyectos fotovoltaicos.....	14
2.2 Identificación y análisis de la normativa vigente.....	18
2.3 Grado de cumplimiento y fiscalización de los compromisos ambientales asociados al tratamiento de las aguas residuales.....	18
2.4 Revisión bibliográfica sobre tratamiento de aguas servidas.....	19
III. RESULTADOS.....	21
3.1 Caracterización del área de estudio y selección de proyectos fotovoltaicos.....	21
3.2 Establecer el grado de cumplimiento y fiscalización de los compromisos ambientales asociados al tratamiento de las aguas residuales.....	33
3.3 Últimos avances en materia de tratamiento de aguas servidas.....	37
IV. DISCUSIÓN.....	42
4.1 Caracterización del área de estudio y selección de proyectos fotovoltaicos.....	42
4.2 Identificar y analizar la normativa vigente.....	43
4.3 Establecer el grado de cumplimiento y fiscalización de los compromisos ambientales asociados al tratamiento de las aguas residuales.....	46
4.4 Últimos avances en materia de tratamiento de aguas servidas.....	48
V. CONCLUSIÓN.....	51
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	55
VII. ANEXO.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales características de cada región administrativa ubicada en las zonas norte y centro de Chile.....	22
Tabla 2. Características generales de proyectos fotovoltaicos estudiados.	23
Tabla 3. Volumen promedio de aguas servidas generadas en la fase de construcción de cada proyecto.	26
Tabla 4. Correlación de Pearson entre variables influyentes.	29
Tabla 5. Fiscalizaciones realizadas a cada proyecto.	30
Tabla 6. Normativa relacionada a tratamiento de aguas servidas en Chile.....	32
Tabla 7. Grado de cumplimiento de la normativa vigente de los proyectos fotovoltaicos estudiados.	33
Tabla 8. Principales características fisicoquímicas estándares de las aguas servidas pretratamiento y el valor esperado postratamiento según uso para riego.	36
Tabla 9. Revisión de artículos sobre PTAS.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del proceso de tratamiento de aguas servidas.	6
Figura 2. Sistemas de tratamiento de aguas servidas utilizadas en Chile.	7
Figura 3. Mapa mundial de DNI (Irradiancia directa normal).	8
Figura 4. Ejemplo del método de búsqueda utilizado en la página web del SEA.	15
Figura 5. Marco general de la metodología.	20
Figura 6. Regiones administrativas, principales usuarios de agua y climas en Chile.	21
Figura 7. Gráfica de la energía producida por cada proyecto en [MW].	25
Figura 8. Gráfica de cantidad de proyectos estudiados según la duración de su construcción [meses].	25
Figura 9. Gráfica de relación entre producción energética [MW] y generación de aguas servidas [m ³ /mes] de cada proyecto en estudio.	28

ABREVIATURAS

AS: Aguas Servidas.

BNR: Eliminación biológica de nutrientes.

CAS: Lodos activados convencionales.

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

DIA: Declaración de Impacto Ambiental.

EE: Eficiencia Energética.

EIA: Estudio de Impacto Ambiental.

ERNC: Energías Renovables No Convencionales.

FC: Fase de Construcción.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

IFA: Informe Técnico de Fiscalización Ambiental.

INN: Instituto Nacional de Normalización.

NDC: Contribución Determinada a Nivel Nacional.

NF: No Fiscalizado.

PAS: Permiso Ambiental Sectorial.

PLR: Partición-Liberación-Recuperación.

PTAS: Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

RCA: Resolución de Calificación Ambiental.

SEA: Servicio de Evaluación Ambiental.

SISS: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

SMA: Superintendencia del Medio Ambiente.

SNIFA: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental.

RESUMEN

La escasez de agua dulce se ha convertido en un problema importante para el desarrollo sostenible, siendo afectada directamente por condiciones climáticas y uso industrial excesivo, e indirectamente, por factores socioeconómicos y políticas gubernamentales. En ese contexto, con el impulso mundial hacia el uso de energías renovables, como alternativa a los combustibles fósiles, hace necesario estudiar cómo, cuándo y cuánto se utiliza del recurso hídrico en la generación de energía, y de qué manera se puede reutilizar, fomentando el desarrollo sostenible. En Chile se ha impulsado el uso de energías renovables solar y eólica.

En este trabajo se pretende revisar los proyectos fotovoltaicos (plantas solares) en Chile y sus compromisos adquiridos, enfocados principalmente con el estudio del consumo y reúso de agua en la etapa de construcción, y el grado de fiscalización de la Autoridad Ambiental (SMA), que den cuenta del tratamiento, manejo y disposición de las aguas servidas; las plantas solares se ubican en el norte y centro del país, zonas con escasez hídrica.

En los aspectos metodológicos, por un lado, se pretende revisar la normativa vigente chilena y analizar su eficacia y pertinencia en los temas tratados, y por otro, verificar la tecnología empleada en las plantas de tratamiento de aguas servidas, sus ventajas y desventajas, y cómo gestionar la reutilización de aguas servidas.

En este trabajo se revisaron estudios/declaraciones de impacto ambiental (EIA/DIA) de 25 proyectos fotovoltaicos, con una producción energética >100 MW, ubicados en comunas del norte y centro de Chile, a través de la plataforma virtual del SEA. Este estudio se realizó a través de una base de datos con parámetros como

consumo de agua diario, mes y total [m³], periodo de construcción, energía producida, entre otros; informados por los proyectos. Se revisó los IFA de la SMA a través de la plataforma SNIFA de los proyectos en estudio. El estudio permitió establecer que no existen fiscalizaciones de parte de la autoridad o información que permita saber el nivel de cumplimiento de los proyectos, en cuanto al manejo de las aguas residuales generadas en la etapa de construcción, lo que reflejaría un nulo interés de la institucionalidad chilena por el destino que tiene el recurso hídrico de los proyectos, situación crítica ante la evidente escasez hídrica que vive el país y el mundo ~~en estos~~ ~~tiempos~~. Por otro lado, analizando la normativa y la revisión bibliográfica de artículos científicos, se concluye que la existencia de tecnología actualizada, para tratar las aguas servidas, acompañada de una normativa que fomenta el reúso, son factores que contribuirían a una implementación consciente y responsable del recurso, en vías de reducir el déficit hídrico, en zonas que requieren de forma urgente políticas hídricas a corto y mediano plazo.

ABSTRACT

Water scarcity has become a major problem for sustainable development. Water scarcity is not only affected by hydroclimatic conditions that result in the amount of freshwater availability, but also by industrial demand for water, as well as socioeconomic factors and government policies. With the global drive towards the transition of renewable energies, such as solar, over those that use fossil fuels, it is necessary to study how, when and how much of the water resource these new forms of energy generation use and how they reuse it, especially in areas with deficits hydric. For this reason, the concern is generated to review the photovoltaic projects in Chile and their commitments acquired in relation to the consumption and reuse of water, the fulfillment of these commitments and/or the degree of supervision of the environmental authority (SMA) with the objective of certifying the adequate treatment, management and disposal of the wastewater generated in the construction stage of solar plants in the north and center of the country, as they are areas with significant water scarcity. In addition, on the one hand, to review current Chilean regulations and analyze their effectiveness and relevance to the topics covered in this paper; and on the other, to study the technologies used around wastewater treatment plants, their advantages, and disadvantages, and how to manage the reuse of wastewater in various areas that could be of great contribution.

To carry out the study, the EIA/DIA of 25 photovoltaic projects were reviewed, with significant energy production (<100 [MW]), located in communes in the north and center of Chile, through the SEA virtual platform. This study was carried out through a database with parameters such as daily, monthly, and total water consumption [m³], construction period, energy produced, among others; reported by the projects. The IFA

of the SMA was reviewed through the SNIFA platform of the projects under study. The study made it possible to establish that there are no inspections by the authority or information that allows knowing the level of compliance of the projects in terms of the management of wastewater generated during their construction stage, which would reflect a null interest of the Chilean institutionality for the destination of the water resources of the projects, a critical situation given the evident water scarcity that the country and the world are experiencing in these times. On the other hand, analyzing the regulations and the bibliographic review of scientific articles, it was concluded that the existence of state-of-the-art technology to treat wastewater, as well as regulations that do not restrict reuse, are factors that would contribute to a conscious and responsible implementation of the resource and would contribute to reducing the water deficit in areas that urgently require water policies in the short and medium term.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes Generales

El cambio climático es y ha sido uno de los desafíos mundiales para la humanidad en los últimos años. Las actividades humanas en el sector de la energía son vitales para contribuir a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que se producen principalmente por la quema de combustibles fósiles, en los sectores de la industria, el transporte y la generación de electricidad (Chaichaloempreecha *et al.*, 2019). Según *BP Statistical Review of World Energy*, aproximadamente el 84% de la demanda mundial de energía se satisface con combustibles fósiles, incluidos petróleo, carbón y gas (British Petroleum, 2020). La creciente demanda, el precio del combustible y los efectos del cambio climático impulsan a los países a tener una planificación energética sostenible a largo plazo. En consecuencia, muchos países, industrializados y en desarrollo, han comenzado a cambiar sus planes energéticos hacia la descarbonización mediante el análisis de varios escenarios alternativos, para ver el impacto de los compromisos nacionales e internacionales en los planes energéticos (Simsek *et al.*, 2019). Paralelamente, a los desarrollos en el mundo, Chile también comenzó a tomar acciones en febrero de 2017, donde ratificó el Acuerdo de París, comprometiéndose a desarrollar políticas sobre cambio climático y alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible, proponiendo una meta al 2030 que representa una reducción del 30% en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) según los niveles de 2007 (Comité de Ministros de Sostenibilidad y Cambio Climático, 2015).

En ese sentido, Chile, al igual que las otras naciones que han suscrito el Acuerdo de París, debe implementar las acciones necesarias para cumplir con los compromisos adquiridos en su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), y así transitar hacia un desarrollo inclusivo y sostenible. En el año 2020, el Gobierno de Chile hizo entrega oficial de la actualización de su NDC a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Este documento es una obligación establecida por el Acuerdo de París, y ratifica la relación intrínseca que las acciones climáticas, sus respuestas e impactos tienen sobre el acceso equitativo al desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza. Un pilar para lograr aquello es la evolución hacia la carbono-neutralidad con una matriz de generación eléctrica, basada principalmente en energías renovables no convencionales, lo cual implica que se deberán diseñar medidas que permitan una transición justa y equitativa que gestione adecuadamente los cambios en la fuerza de trabajo del sector (Consejo de Ministros para la Sustentabilidad, 2020).

Por otro lado, el cambio climático ha agravado la disponibilidad de agua para el uso humano, generando problemas para la salud de los ecosistemas y el desarrollo socioeconómico (Huang *et al.*, 2021). La escasez de agua no solo se ve afectada por las condiciones hidroclimáticas que resultan en la cantidad de disponibilidad de agua dulce, sino también por la demanda humana de agua en general, así como por factores socioeconómicos y políticas gubernamentales (Dell'Angelo *et al.*, 2018). Es decir, se requiere una gestión sostenible del agua para mitigar su déficit.

En la literatura, el carácter multidimensional de la sostenibilidad se define formalmente por el equilibrio de tres dimensiones: económica, ambiental y sociocultural (Balkema *et al.*, 2002). Así, la búsqueda de la sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos se centra en evitar las externalidades negativas que puedan ocurrir en su consumo, así como en reducir la contaminación del agua y satisfacer la demanda, tanto agrícola, industrial como doméstica. Significa que la gestión sostenible de los recursos hídricos es un desafío de importancia mundial (Jorquera *et al.*, 2020).

1.2 Energía Solar

Una alternativa renovable para un desarrollo energético sustentable es la energía solar, la cual es una energía gratuita e inagotable para el planeta Tierra a partir de la radiación electromagnética procedente del Sol. En el concepto de energía solar se considera la captación y utilización de la energía luminosa y/o térmica generada por el Sol y las tecnologías implicadas en la consecución de estas (Kabir *et al.*, 2018). Teóricamente, la energía solar posee el potencial para satisfacer adecuadamente las demandas de energía del mundo entero si las tecnologías para su recolección y suministro estuvieran fácilmente disponibles (Blaschke *et al.*, 2013).

La radiación solar que ingresa al planeta tiene una componente directa (radiación de haz directo) y una componente difusa que llega en todas las direcciones (radiación que se dispersa en la atmósfera fuera del haz directo a causa de moléculas, aerosoles y nubes). La suma de la radiación directa, difusa y reflejada del suelo y sus alrededores que llega a la superficie se denomina radiación solar total o global (Gómez Vásquez, 2019). Para los distintos tipos de aplicaciones, los datos de radiación solar se

presentan en forma de Irradiancia Horizontal Global (GHI) e Irradiancia Normal Directa (DNI) (Gómez Vásquez, 2019).

En general, la tecnología de energía solar puede agruparse en dos categorías: tecnología fotovoltaica y tecnología solar térmica (Herrando & Markides, 2016). La energía solar fotovoltaica (PV) es una tecnología de energía renovable que ha estado en desarrollo durante más de 60 años. La tecnología permite que se genere una corriente y un voltaje en un material semiconductor tras la exposición a la luz. Actualmente, alrededor del 95% de los sistemas fotovoltaicos producidos son multi o monocristalinos basados en silicio, mientras que las tecnologías de película delgada, como el telururo de cadmio (CdTe) y el cobre-indio-[galio-]diselenuro (CI(G)S), solo representan alrededor del 5% de la producción fotovoltaica (Fraunhofer ISE, 2019).

A su vez, en la tecnología solar térmica, la energía solar puede ser térmica concentrada (CST) o solar concentrada (CSP), donde la primera se emplea para aplicaciones domésticas y/o comerciales como secado, calefacción, refrigeración, cocción, entre otros (Seddegh *et al.*, 2015). A escala industrial, las tecnologías de energía solar concentrada (CSP) se emplean para generar electricidad. A diferencia de las tecnologías de paneles fotovoltaicos (PV), la energía solar concentrada (CSP) tiene una capacidad inherente para almacenar energía térmica durante intervalos de tiempo limitados para su posterior conversión en electricidad (Balgouthi *et al.*, 2016).

La energía solar se está adoptando como una parte natural y sustancial de la generación de electricidad en muchos países, desarrollados y en vías de desarrollo, para satisfacer las necesidades energéticas requeridas, no obstante, existen una serie de limitaciones asociados con su uso (Kabir *et al.*, 2018). El alto costo de instalación inicial es uno de los defectos más importantes del sistema de energía solar (REPN,

2015). Además, la eficiencia de la mayoría de los paneles solares domésticos es de alrededor del 10-20% y los factores asociados con el mantenimiento de sistemas, como la escasez de mano de obra calificada, para satisfacer las crecientes demandas de instalación, mantenimiento, inspección, reparación y evaluación de sistemas de energía solar también son otra limitación, asimismo, la falta de conocimientos técnicos básicos por parte del usuario (especialmente en zonas rurales del mundo en desarrollo) con respecto a los sistemas de energía solar puede resultar en un uso irregular, sobrecarga de la batería, inversión de polaridad, desvío del controlador de carga, entre otros; que pueden provocar daños en el sistema (Kabir *et al.*, 2018).

Otra limitación de este tipo de energía tiene relación con el uso de agua. Los procesos industriales, como los asociados al sector energético solar, generalmente utilizan el agua en grandes cantidades, para acciones de lavado o en la propia fase de construcción, donde se modifican las propiedades y composición química de las aguas usadas. Las aguas residuales industriales generalmente se vierten en las redes de alcantarillado, donde si no son tratadas previamente, pueden generar graves problemas debido a su toxicidad. Por ello, es de vital importancia el tratamiento adecuado de las mismas antes de su vertido (González, 2020). En la industria se implementan plantas de tratamiento de aguas servidas (PTAS) que convierten el efluente residual dañino en un efluente menos dañino o inofensivo, antes de que se descargue al medio ambiente; el tratamiento de aguas residuales es un método eficiente para mitigar la escasez de agua y proteger las masas de agua (Bekkari & Zeddouri, 2019).

1.3 Planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS)

El reúso de aguas residuales tratadas es una estrategia de ahorro y uso eficiente de agua que tiene por objetivo aprovechar el recurso previamente utilizado, una o más veces en alguna actividad, de modo de satisfacer necesidades de agua de los usuarios o sectores productivos que lo requieran, después de someterla a un procedimiento determinado en PTAS que logren la calidad requerida por el usuario final (Fundación Chile, 2018).

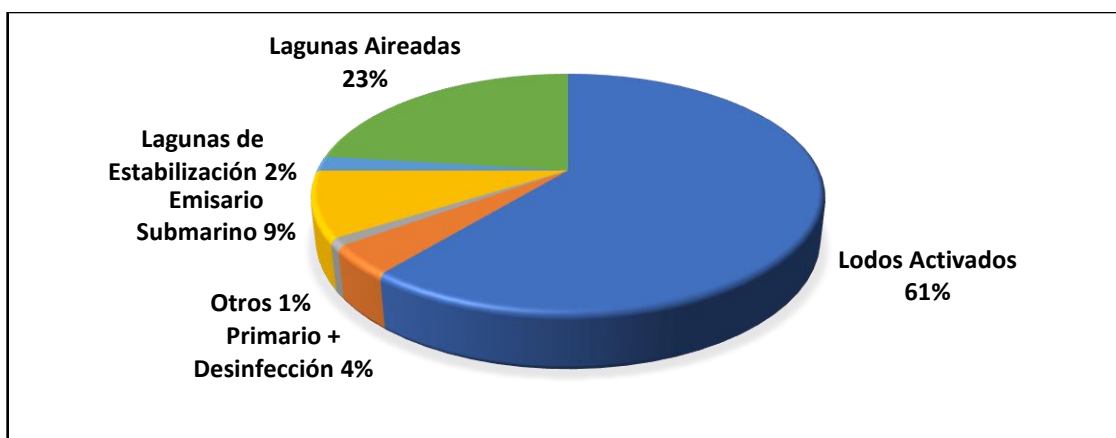
Una PTAS incluye procesos de tratamiento aeróbicos, anaeróbicos y anóxicos que ayudan a eliminar en las aguas residuales el exceso de nitrógeno, fósforo, materiales orgánicos e inorgánicos, entre otros; para reducir la carga contaminante y adecuarla a las exigencias del cuerpo receptor (Fundación Chile, 2016). El tratamiento centralizado convencional de aguas residuales consiste principalmente en pasos de tratamiento preliminares, primarios y secundarios. En algunos casos, cuando sea necesario, se puede implementar un tratamiento terciario. En la Figura 1 se presenta una breve explicación de cada etapa.



Fuente: Hidden-Nature, 2021.

Figura 1. Etapas del proceso de tratamiento de aguas servidas.

Por otro lado, en la Figura 2 se muestra que el proceso de tratamiento de aguas residuales de tipo domésticos más utilizado en Chile son los lodos activados con el 61% del total; seguido de las lagunas aireadas con el 23% de las plantas, entre otros procesos (Jorquera-Bravo *et al.*, 2020).



Fuente: Elaboración propia; Jorquera-Bravo *et al.*, 2020.

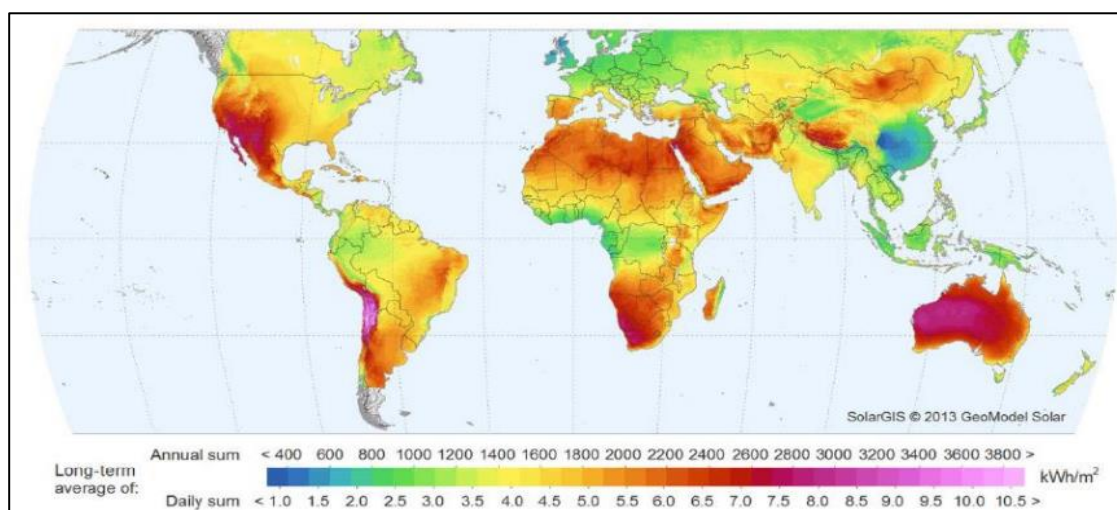
Figura 2. Sistemas de tratamiento de aguas servidas utilizadas en Chile.

En la actualidad las PTAS han ganado interés, pero se necesita más investigación para implementar nuevas tecnologías, otorgando una sociedad mejor y un medio ambiente saludable (Shah, Sarkar & Mandal, 2021), ya que el funcionamiento de estas implica impactos ambientales hacia los ecosistemas, como las emisiones directas de GEI de procesos biológicos, las emisiones indirectas de GEI por el uso de energía (electricidad y calefacción) y los lodos depositados en la tierra, la toxicidad de los productos químicos y la efectividad en la remoción de microorganismos (Meneses *et al.*, 2016). Dichos costos ambientales afectan la sostenibilidad del proceso, que juega un papel importante en la gestión del proceso en el contexto real. Por lo tanto, incluso la eficacia de la eliminación de la contaminación es el objetivo principal de la operación de las PTAS, y se debe considerar la gestión adecuada de los recursos y la prevención de emisiones innecesarias al aire, agua y suelo para asegurar la viabilidad

económica y la sostenibilidad de la operación de las PTAS (Revollar *et al.*, 2020). Según la UNESCO (2017), históricamente las aguas residuales se han utilizado de manera ineficiente como recurso.

1.4 Contexto en Chile

En términos de energía solar, Chile posee altos niveles de radiación proveniente del Sol dentro de su territorio. En el norte de Chile se encuentran los índices de radiación más altos del planeta (Figura 3), específicamente en el desierto de Atacama, donde la irradiancia directa normal anual es de aproximadamente 3.000 [kWh/m²] (Solari San Martín, 2019).



Fuente: SOLARGIS, 2018.

Figura 3. Mapa mundial de DNI (Irradiancia directa normal).

La tecnología solar fotovoltaica posee gran potencial en el desarrollo de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en el país. Ya totaliza 2.720 MW de capacidad instalada en proyectos en operaciones dentro del Sistema Eléctrico Nacional, a lo que se suman otros 226 MW de iniciativas que están en periodo de pruebas y otros 2.823 MW en construcción, por lo cual a fines de 2021 los datos del

Reporte ERNC de abril de la Comisión Nacional de Energía (CNE) estimaron que estarán operando 5.769 MW (Revista Electricidad, 2020). En consecuencia, según los datos del Coordinador Eléctrico Nacional, actualmente existen 202 centrales generadoras con esta tecnología, superando en número a las plantas termoeléctricas (185); hidráulicas (163), y eólicas (36) (Revista Electricidad, 2020).

Por otro lado, en términos de disponibilidad hídrica, el aumento de las temperaturas impulsadas por el cambio climático ha afectado la disponibilidad de agua. Chile no es una excepción a este fenómeno, si bien es considerado como país privilegiado hídricamente por las numerosas fuentes de agua que posee, existen causas que explican la creciente demanda de este recurso, como el crecimiento de la población, la aparente baja preocupación de las agencias gubernamentales y privadas por administrar este recurso de manera óptima, junto con el hecho de que el 73% de la demanda de agua total se destina al sector agrícola, mientras que el 21% es consumido por las industrias (Jorquera-Bravo *et al.*, 2020). En este mismo escenario, tras el análisis de las 174 cuencas hidrográficas de todo el país, la investigación "Actualización del Balance Hídrico Nacional" indicó que proyecciones futuras muestran una fuerte reducción en la disponibilidad de agua en la zona centro-norte del país. Los modelos hidrológicos estiman -en promedio- que en algunas cuencas las disminuciones de caudal serán cercanas al 30%, aunque uno de los modelos más extremos indica que esta disminución alcanzaría hasta 50% para el período 2030-2060 (DGA, 2020). Considerando las razones anteriores, el desarrollo de investigaciones que promuevan planes de manejo eficiente del agua es de gran relevancia para evitar el agotamiento de los recursos naturales y asegurar la consecución y satisfacción

continua de las necesidades humanas de las generaciones presentes y futuras (Espinoza *et al.*, 2019).

La institucionalidad ambiental en Chile establece que, para que se implementen proyectos solares con una producción mayor a los 3 MW, deben someterse a dicha institucionalidad ambiental, la cual se sostiene principalmente en cinco actores claves, donde cada uno cumple distintos roles y funciones. Estos actores permiten que se exprese en términos políticos (Consejo de Ministros para la Sustentabilidad), técnicos (Ministerio del Medio Ambiente, Superintendencia del Medio Ambiente y el Servicio de Evaluación Ambiental) y jurídicos (Tribunales Ambientales). Uno de los actores técnicos, corresponde al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) quien descentralizadamente administra el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), instrumento que permite determinar los impactos ambientales que generan ciertas actividades o, en este caso, los proyectos solares, los cuales ingresan vía Estudio de Impacto Ambiental (EIA) o bien, Declaración de Impacto Ambiental (DIA) con el atributo de contar con carga ambiental (Morales, 2020). El ente encargado de fiscalizar que se cumpla lo estipulado en los EIAs o DIAs es la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), la cual cuenta con una plataforma digital pública llamada SNIFA (Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental), donde se muestran los procesos de fiscalización y sancionatorios realizados, bajo un enfoque territorial, junto a dictámenes, sentencias y resoluciones de autoridades relacionadas con materias ambientales. Además, incluye acceso a los registros públicos de instrumentos de carácter ambiental y de sanciones (SNIFA, 2021).

1.5 Planteamiento del problema

Como se mencionó anteriormente, se proyecta una fuerte reducción de la disponibilidad del recurso hídrico para las zonas centro-norte de Chile, lo que aumenta el problema actual de escasez hídrica que afecta a varias regiones del país. Conjuntamente, al ser una zona donde existen los mayores índices de radiación del planeta, es y será un área donde se espera se implementen y se priorice el desarrollo de plantas y parques fotovoltaicos, que requerirán un volumen importante de agua (en particular para su etapa de construcción) y por ende la operación de PTAS para el tratamiento de las aguas servidas.

De acuerdo a lo anterior, en un análisis preliminar en la plataforma SNIFA, se pudo constatar que no existen publicaciones que describan procesos de fiscalización que permitan establecer el nivel de cumplimiento de los proyectos ya ejecutados, en particular respecto del manejo de las aguas servidas generadas durante la etapa de construcción (ya sea a través de PTAS u otros sistemas), por lo cual no es posible establecer si se cumplen los compromisos asumidos y por ende si se implementa un manejo sustentable de las aguas residuales tratadas. Existen proyectos fotovoltaicos que declaran generar entre 10.000 m³ y 50.000 m³ de aguas servidas durante su fase de construcción; volúmenes que con un manejo sustentable podrían ser una alternativa que permita mitigar la escasez hídrica en las zonas, al menos, donde se desarrollan este tipo de proyectos.

Por otra parte, el funcionamiento de las PTAS plantea retos críticos en términos de sostenibilidad económica y medioambiental. Ejemplos de estos desafíos son un aumento en el consumo de recursos, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sitio y fuera del sitio y los costos de energía (Lorenzo-Toja *et al.*, 2015). Hoy

en día, la optimización de la eficiencia energética en las PTAS es un tema bastante popular en la comunidad científica (Yifan *et al.*, 2017); reducir el consumo neto de energía para el tratamiento de aguas residuales es un objetivo complementario, no alternativo, a la reutilización del agua (McCarty *et al.*, 2011). Por lo tanto, para garantizar el desarrollo sostenible, los impactos negativos de estas instalaciones no deben exceder sus beneficios (Jiang *et al.*, 2020). Un cambio progresivo de actitudes ha llevado innegablemente a un nuevo paradigma que busca maximizar la recuperación de energía y recursos a través del diseño y gestión de estas instalaciones, por lo cual se pretende analizar el tipo de tratamiento de aguas servidas y destino final que se implementa en general en la industria energética solar chilena, y contrastar con nuevas publicaciones y estudios con el objeto de establecer si estas nuevas tecnologías permitirían minimizar el uso de agua y/o generar sustentabilidad en los proyectos a futuro.

1.6 Objetivo General

Analizar el tratamiento, uso, manejo y disposición de aguas residuales generadas durante la etapa de su construcción de 25 proyectos fotovoltaicos ubicados en el centro y norte de Chile, con producción energética individual cercana o mayor a 100 MW.

1.7 Objetivos Específicos

- Generar una base de datos de proyectos fotovoltaicos respecto a su ubicación geográfica, producción energética, periodo de construcción, número de trabajadores, generación de aguas servidas diarias y mensuales, sistemas de tratamiento utilizados, fiscalizaciones efectuadas por la SMA y compromisos adquiridos por parte de los proyectos en función de la disposición y uso de las aguas tratadas.

- Identificar y analizar la normativa vigente y contrastar con los datos recopilados.

- Establecer el grado de cumplimiento y fiscalización de los compromisos ambientales asociados al tratamiento de las aguas residuales, en relación con el destino y manejo que se realiza con este efluente.

- Revisar bibliografía reciente sobre los últimos avances en materia de tratamiento de aguas servidas y plantear sistemas innovadores para el manejo y disposición de estas en Chile.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar cumplimiento a los objetivos, esta sección se divide en cuatro etapas: Primero, caracterización del área de estudio y selección de proyectos fotovoltaicos generando una base de datos para estudio. Segundo, identificación y análisis de la norma vigente. Tercero, se presenta el método de cuantificación del grado de cumplimiento de los compromisos ambientales y fiscalizaciones asociado al tratamiento de aguas servidas. Cuarto, se presenta la revisión bibliográfica de los últimos avances en materia de manejo y disposición de aguas residuales.

2.1 Caracterización del área de estudio y selección de proyectos fotovoltaicos.

Para la caracterización del área de estudio se realizó una investigación de las características correspondientes a cada región de la zona norte y centro del país, relacionadas con el clima, uso de agua, producción económica, número de cuencas, entre otras; con el objetivo de justificar el criterio de selección de proyectos fotovoltaicos en esa zona.

Para la selección de proyectos, se utilizó la plataforma virtual del SEA, en donde se realizó la búsqueda de proyectos solares implementados en el país. En la sección de “Búsqueda avanzada” se utilizaron las palabras claves “Fotovoltaico” o “Solar” en la categoría de “Nombre de Proyecto”; en “Región” se seleccionaron las pertenecientes a la zona norte y centro del país; en “Tipo de presentación” se marcó la opción “Ambos (DIA y EIA)”; en “Fecha de calificación” se estableció el rango de fecha desde el “1 de enero de 2015 hasta el 31 de diciembre de 2019” (con el fin de tener un margen de tiempo para el inicio de actividades de los proyectos); en “Estado del proyecto” se

seleccionó únicamente la opción “Aprobado”; y en la categoría de “Sectores Productivos” se marcó solo la opción de “Energía (ver Figura 4).

Busqueda de proyectos

[Buscador de Proyectos por Comuna](#)

Nombre de Proyecto

Folio del Expediente Ej.: 2018-99-2

Región

<input type="checkbox"/> Interregional	<input checked="" type="checkbox"/> Región de Coquimbo	<input type="checkbox"/> Región de La Araucanía
<input checked="" type="checkbox"/> Región Metropolitana de Santiago	<input checked="" type="checkbox"/> Región de Valparaíso	<input type="checkbox"/> Región de Los Ríos
<input checked="" type="checkbox"/> Región de Arica y Parinacota	<input checked="" type="checkbox"/> Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	<input type="checkbox"/> Región de Los Lagos
<input checked="" type="checkbox"/> Región de Tarapacá	<input checked="" type="checkbox"/> Región del Maule	<input type="checkbox"/> Región de Aysén
<input checked="" type="checkbox"/> Región de Antofagasta	<input type="checkbox"/> Región de Ñuble	<input type="checkbox"/> Región de Magallanes y Antártica Chilena
<input checked="" type="checkbox"/> Región de Atacama	<input type="checkbox"/> Región del Biobío	

Tipo de presentación EIA DIA AMBOS

Fecha de presentación Desde Hasta

Fecha de calificación Desde Hasta

Estado del proyecto

<input type="checkbox"/> En Admisión	<input type="checkbox"/> No Admitido a Tramitación	<input type="checkbox"/> Caducado
<input type="checkbox"/> En Calificación	<input type="checkbox"/> No calificado	<input type="checkbox"/> Revocado
<input type="checkbox"/> Rechazado	<input type="checkbox"/> Desistido	<input type="checkbox"/> Renuncia RCA
<input checked="" type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Abandonado	<input type="checkbox"/> Ingresados Art.94 RSEJA

Sectores Productivos

<input type="checkbox"/> Agropecuario	<input type="checkbox"/> Infraestructura Hidráulica	<input type="checkbox"/> Pesca y Acuicultura
<input checked="" type="checkbox"/> Energía	<input type="checkbox"/> Infraestructura Portuaria	<input type="checkbox"/> Planificación Territorial e Inmobiliarios en Zonas
<input type="checkbox"/> Equipamiento	<input type="checkbox"/> Inmobiliarios	<input type="checkbox"/> Saneamiento Ambiental
<input type="checkbox"/> Forestal	<input type="checkbox"/> Instalaciones fabriles varias	<input type="checkbox"/> Otros
<input type="checkbox"/> Infraestructura de Transporte	<input type="checkbox"/> Minería	

Fuente: Elaboración propia; SEA, 2022.

Figura 4. Ejemplo del método de búsqueda utilizado en la página web del SEA.

Utilizado este criterio, la búsqueda arrojó 97 resultados utilizando la palabra “Solar” y 92 usando la palabra “Fotovoltaico”, siendo la gran mayoría proyectos con baja producción energética (> a 100 MW). De esta forma se seleccionaron 25 proyectos que cumplieran con una producción energética individual cercana a 100 MW o más.

En cada uno de estos proyectos se analizó la DIA o EIA (según sea el caso) y se revisó los valores entregados por la empresa sobre el consumo de agua en la fase de construcción y el permiso ambiental sectorial N°138 (PAS 138), referido a sistemas de evacuación y tratamiento de aguas servidas; con el objetivo de conocer la cantidad de

aguas residuales que genera la planta en esa fase y la forma de tratamiento y disposición final.

Paralelamente, en la plataforma virtual SNIFA, se buscaron las fiscalizaciones realizadas por la SMA con relación al manejo de las aguas residuales de los proyectos analizados. Para ello se ingresó en la categoría “Fiscalizaciones” y en “Nombre Unidad Fiscalizable o Titular” se buscó cada proyecto por su nombre. En caso de encontrar fiscalizaciones, se revisó en el Informe Técnico de Fiscalización Ambiental (IFA) las Materias Específicas Objeto de la Fiscalización Ambiental si existía inspección de las aguas tratadas en las PTAS o no. Por otra parte, en caso de no encontrar datos ni fiscalizaciones de cada proyecto, se solicitó información al respecto por Ley 20.285, o también llamada “Ley de Transparencia” sobre acceso a la información pública vigente en Chile, directamente a la SMA de cada parque solar. En cada fiscalización se deben entregar los resultados de los compromisos asumidos en la RCA de cada proyecto, en donde en el caso de las aguas servidas generadas, debiesen entregar mediciones de parámetros de las aguas servidas tratadas tales como pH, DBO₅, detergentes, aceites y grasas, elementos y compuestos químicos, razón de adsorción de sodio (RAS), conductividad específica, sólidos disueltos totales y contenido de coliformes fecales.

Luego de seleccionar los proyectos, se determinó la generación de aguas servidas diarias, mensuales y totales de cada uno en su fase de construcción, según sus declaraciones y compromisos. Para ello fue necesario su cálculo mediante las siguientes fórmulas:

$$V_{ASd} = N * D_{H_2O} * F_R \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$V_{ASm} = V_{ASd} * DT \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$V_{ASt} = V_{ASm} * PC \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

V_{ASd} = Volumen de aguas servidas generadas diarias [$\text{m}^3/\text{día}$].

N = Mano de obra promedio [persona].

D_{H_2O} = Dotación de agua por persona [$\text{m}^3/(\text{persona} * \text{día})$].

F_R = Factor de recuperación.

V_{ASm} = Volumen de aguas servidas generadas mensuales [m^3/mes].

DT = Días trabajados en un mes [días].

V_{ASt} = Volumen de aguas servidas generadas totales [m^3].

PC = Período de construcción [meses].

Según el Art. 14 del DS N° 594/1999 se establece como D_{H_2O} mínima de 0,1 metros cúbicos de agua por persona y por día (en algunos proyectos especifican una dotación de 0,15 metros cúbicos por persona y por día). El F_R representa la fracción de agua efectiva que se descarga a la planta y tiene como valor entre 0,8 y 1 en todos los proyectos.

Por último, el análisis de Correlación de Pearson se realizó utilizando Microsoft Excel y el paquete de software SPSS Statistics de IBM. Las figuras se trazaron utilizando Microsoft Excel.

2.2 Identificación y análisis de la normativa vigente.

A través de la plataforma virtual de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile se buscó la normativa vigente que regula y norma el tratamiento y disposición de aguas residuales en el país. En la sección de búsqueda se ingresaron las palabras clave “Aguas Servidas” para obtener la legislación correspondiente a la materia. Por otro lado, se revisó en la plataforma virtual del Instituto Nacional de Normalización (INN) las normas NCh1333/78, la cual fija criterios de calidad de agua, y NCh411/10-2005, la cual se refiere al muestreo de aguas residuales. Se revisaron dichas normas debido a que se citan en los proyectos que se comprometen a tratar sus aguas servidas generadas en la fase de construcción.

Se muestra la información recopilada sobre la normativa sobre aguas servidas, indicando la materia regulada y su relación con los proyectos estudiados. Además, se señalaron los límites máximos que establece la ley para los parámetros analizados en las aguas servidas.

2.3 Grado de cumplimiento y fiscalización de los compromisos ambientales asociados al tratamiento de las aguas residuales.

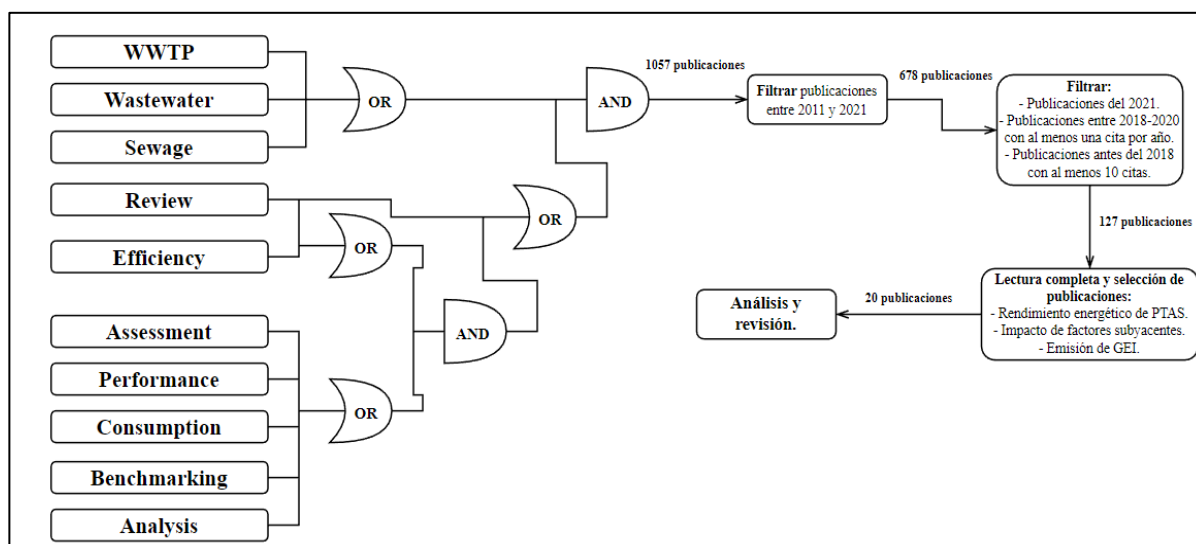
A través de la base de datos realizada en el apartado 2.1, se realizó un análisis cuantitativo y se definió el grado de cumplimiento de los proyectos fotovoltaicos estudiados, determinando el tratamiento, manejo y disposición final de las aguas servidas tratadas en la fase de construcción de cada proyecto, según lo indicado en las fiscalizaciones realizadas por la institución ambiental y comparándolo con los compromisos ambientales adquiridos por las plantas solares. Los elementos que fueron evaluados con su grado de cumplimiento fueron: (i) el volumen de agua

declarado/consumido, (ii) funcionamiento de PTAS, (iii) características de los parámetros medibles y cumplimiento de la norma, (iv) disposición final y finalmente, (v) uso de las aguas tratadas.

Para establecer el grado de cumplimiento de cada planta fotovoltaica se determinó una escala de 1 a 5, siendo 1 el grado de menor cumplimiento y 5 el de mayor cumplimiento, según la suma de elementos que cumplieran con los compromisos adquiridos por los proyectos.

2.4 Revisión bibliográfica sobre tratamiento de aguas servidas.

Inicialmente, se recopilaron publicaciones revisadas por pares indexadas en los sitios web de *Science Direct* y *Google Scholar*. Se utilizó una combinación de palabras clave en el título, que incluían “*WWTP* (PTAS)”, “*wastewater* (aguas servidas)”, “*sewage* (aguas residuales)”, “*efficiency* (eficiencia)”, “*benchmarking* (evaluación comparativa)”, “*assessment* (evaluación)”, “*performance* (desempeño)”, “*consumption* (consumo)”, “*review* (revisión)” y “*analysis* (análisis)”. Estas publicaciones se filtraron por fecha para obtener los estudios más recientes. Se emplearon criterios de filtrado adicionales: (a) publicaciones de 2021 que incluyen los resultados más recientes; (b) publicaciones entre 2018 y 2020 con al menos una cita por año; y (c) publicaciones anteriores a 2018 con al menos diez citas en total. Por lo tanto, se reunieron 127 publicaciones para lectura y posterior selección, donde finalmente se clasificó a 20 artículos para el análisis y la revisión. La metodología es ilustrada en la Figura 5.



Fuente: Elaboración propia, 2022.

Figura 5. Marco general de la metodología.

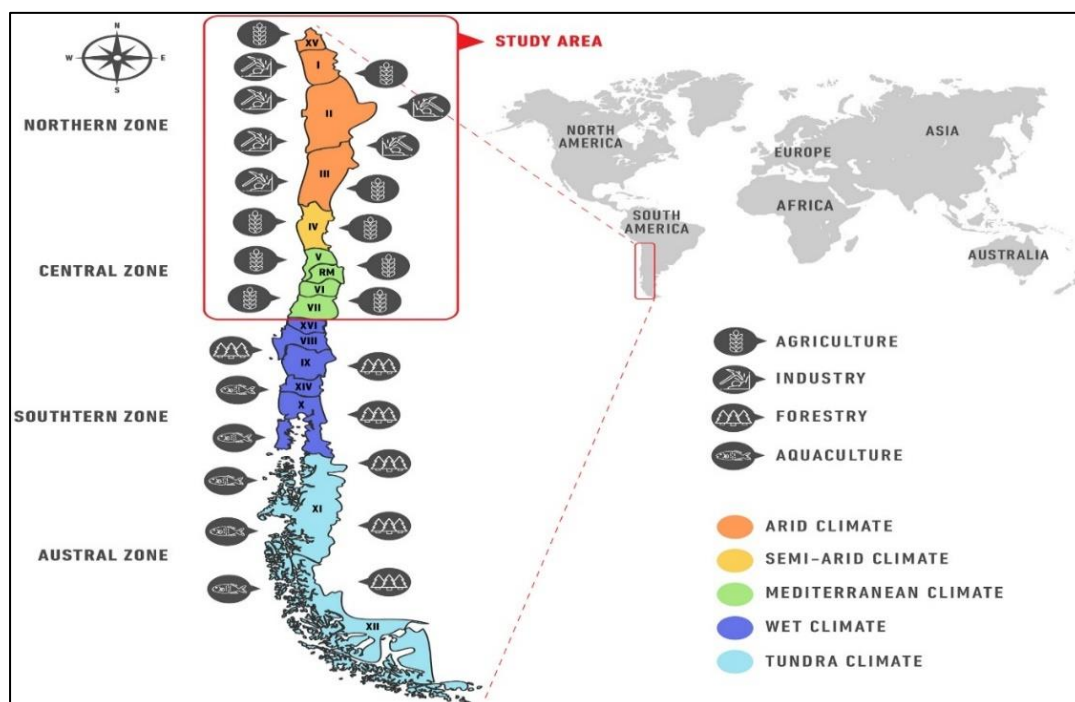
De la muestra anterior, se realizó una selección de acuerdo con los siguientes criterios: (a) publicaciones que analizan o comparan el rendimiento energético de las PTAS, (b) publicaciones que evalúen el impacto de los factores subyacentes, como el diseño y tamaño, el tipo de tecnología de tratamiento, o la eficiencia de eliminación de contaminantes; y, por último, (c) publicaciones que han examinado la emisión de GEI en distintas fases del proceso de tratamiento de aguas servidas.

En la segunda etapa, se analizaron las metodologías empleadas en los estudios, las discusiones y las conclusiones de las 20 publicaciones seleccionadas. Se llevó a cabo la identificación, categorización y análisis de los factores que influyen en el desempeño de las PTAS y las mejoras que se pueden emplear. Los datos obtenidos se mostraron en Tabla, señalando las principales conclusiones de cada artículo para posterior discusión.

III. RESULTADOS

3.1 Caracterización del área de estudio y selección de proyectos fotovoltaicos.

Chile está dividido administrativamente en dieciséis regiones, que se indican con números romanos en la Figura 6. Además, la Región Metropolitana de Santiago ubicada en el centro del país y sede de la capital del país, Santiago de Chile, fue excluida de este esquema de nomenclatura, debido a que se le asignó RM. El área de estudio fueron las zonas norte y centro de Chile, que se dividen en nueve regiones administrativas. La Figura 6 muestra estas regiones administrativas, y la Tabla 1 muestra las principales características de cada una en términos de superficie, población, principales usuarios de agua, número de cuencas y número de proyectos estudiados por región.



Fuente: Herrera-León *et al.*, 2022.

Figura 6. Regiones administrativas, principales usuarios de agua y climas en Chile.

Tabla 1. Principales características de cada región administrativa ubicada en las zonas norte y centro de Chile.

Región Administrativa	Superficie [km ²]	Población (INE, 2018)	Condición climática (según Köppen)	Principal usuario del agua (DGA, 2016)	Número de cuencas (DGA, 2016)	Número de proyectos estudiados por región
Arica y Parinacota	16.873	226.068	Árido	Agricultura	5	2
Tarapacá	42.226	330.558	Árido	Minería y agricultura	5	3
Antofagasta	126.049	607.534	Árido	Minería	10	7
Atacama	75.176	286.168	Árido	Minería y agricultura	11	8
Coquimbo	40.580	757.586	Semiárido	Agricultura	10	1
Valparaíso	16.396	1.815.902	Mediterráneo	Agricultura	8	1
Metropolitana	15.403	7.112.808	Mediterráneo	Agricultura	2	2
O'Higgins	16.387	914.555	Mediterráneo	Agricultura	2	1
Maule	30.296	1.044.950	Mediterráneo	Agricultura	5	0

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La zona norte comprende cinco regiones administrativas (Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama y Coquimbo) y tiene una superficie total de 300.904 km² y 2.207.914 habitantes, lo que corresponde al 12,56% del total de la población chilena (INE, 2018). La zona central comprende cuatro regiones administrativas (Valparaíso, Metropolitana, O'Higgins y Maule) y la superficie total es de 78.482 km², y la población es de 10.888.215 habitantes, lo que corresponde al 61,96% del total de la población chilena (INE, 2018).

La zona norte tiene un clima árido o semiárido con un nivel extremadamente bajo de precipitación, altas temperaturas y una precipitación media anual de 87 mm/año (DGA, 2016). Esta zona cuenta con 41 cuencas (DGA, 2018) de las que se ha extraído

agua durante décadas para actividades humanas e industriales (Scheihing & Tröger, 2018).

La zona central de Chile tiene un clima mediterráneo con una precipitación media anual de 943 mm/año (DGA, 2016), que se concentra entre los meses de mayo y septiembre (Valdés-Pineda *et al.*, 2014). Desde 2010, esta zona ha sufrido una secuencia ininterrumpida de años secos, con un déficit medio de precipitaciones del 20-40%, lo que ha dado lugar a una sequía significativa (Garreaud *et al.*, 2020). Esta zona cuenta con 17 cuencas (DGA, 2018), y el agua se utiliza principalmente en la agricultura para producir una gran variedad de frutas, verduras y flores (Aguilera *et al.*, 2019).

Los 25 proyectos presentes en esta área del país que fueron seleccionados se presentan en la Tabla 2 con sus respectivas ubicaciones (Comuna y Región), fecha de aprobación, energía producida [MW] según declaran y si PTAS operan o no en la fase de construcción (FC).

Tabla 2. Características generales de proyectos fotovoltaicos estudiados.

N°	Proyecto	Región	Comuna	Fecha de Aprobación	Duración de construcción [meses]	Energía producida [MW]	PTAS en FC
1	Camarones	Arica y Parinacota	Camarones	06-may-2016	40	105	SI
2	ALWA	Arica y Parinacota	Camarones	12-abr-2017	14	93,2	SI
3	Cielos de Tarapacá	Tarapacá	Pozo Almonte	27-ene-2016	54	600	SI
4	Tamarugal Solar	Tarapacá	Pozo Almonte	16-mar-2017	36	743	SI
5	Granja Solar	Tarapacá	Pozo Almonte	04-oct-2017	14	100	NO
6	Sol del Desierto	Antofagasta	Antofagasta	24-abr-2015	48	369,4	SI
7	Pampa Tigre	Antofagasta	Antofagasta	20-mar-2019	14	142	SI
8	Likana Solar	Antofagasta	Calama-Sierra Gorda	24-jul-2017	36	450	SI
9	CEME 1	Antofagasta	María Elena	21-dic-2016	27	140	SI

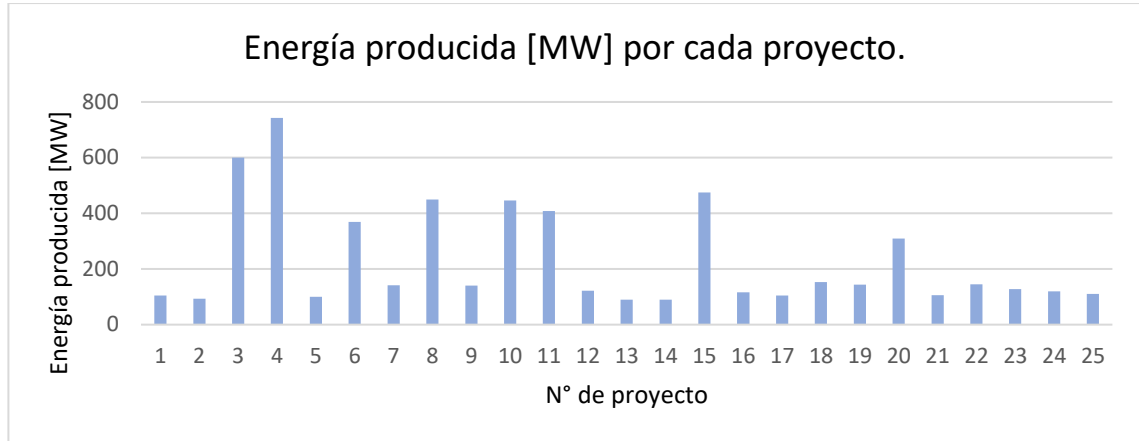
N°	Proyecto	Región	Comuna	Fecha de Aprobación	Duración de construcción [meses]	Energía producida [MW]	PTAS en FC
10	Elena	Antofagasta	María Elena	05-ene-2017	40	446	SI
11	Santa Isabel	Antofagasta	María Elena	01-sept-2017	36	408	SI
12	Tamaya Solar	Antofagasta	Tocopilla	09-abr-2019	15	122,4	NO
13	Solar Andino	Atacama	Copiapó	31-may-2016	12	90	SI
14	Piedra Colgada	Atacama	Copiapó	21-jun-2016	10	90	SI
15	Luz del Oro	Atacama	Diego de Almagro	30-jun-2016	36	475	SI
16	Libertad I y II	Atacama	Freirina	20-ago-2018	38	116	SI
17	Valle Escondido	Atacama	Tierra Amarilla	17-jul-2019	20	105	SI
18	Tamarico	Atacama	Vallenar	12-sept-2016	9	153	NO
19	Nuevo Futuro	Atacama	Vallenar	05-feb-2018	18	144	SI
20	Sol de Vallenar	Atacama	Vallenar	17-dic-2018	21	308,7	SI
21	Doña Antonia	Coquimbo	Ovalle	25-sept-2015	11	106	SI
22	Parque Solar Olmué	Valparaíso	Olmué	21-sept-2015	11	145	SI
23	Quilapilún	Metropolitana	Colina	19-jun-2015	12	127,9	SI
24	Santiago Solar	Metropolitana	Til-Til	01-jul-2016	12	120	SI
25	Santa Marta de Marchigüe	O'Higgins	Marchigüe	30-nov-2016	12	110	SI

Fuente: Elaboración propia; SEA, 2021.

De la Tabla 2 se puede destacar que localidades como Pozo Almonte, María Elena y Vallenar presentan tres proyectos dentro de la comuna cada una, siendo la zona de Pozo Almonte la poseedora de los dos mayores parques solares productores de energía que se analizaron, la “Planta de Concentración Solar de Potencia Tamarugal Solar” y “Cielos de Tarapacá”, con 743 MW y 600 MW de potencia, respectivamente.

También se observa que los proyectos “Parque Fotovoltaico Granja Solar”, “Tamaya Solar” y “Parque Solar Fotovoltaico Tamarico”, de las comunas de Pozo Almonte, Tocopilla y Vallenar, respectivamente; no presentan PTAS que operen en la fase de construcción, sino que en el primer caso existen disponibles baños químicos y

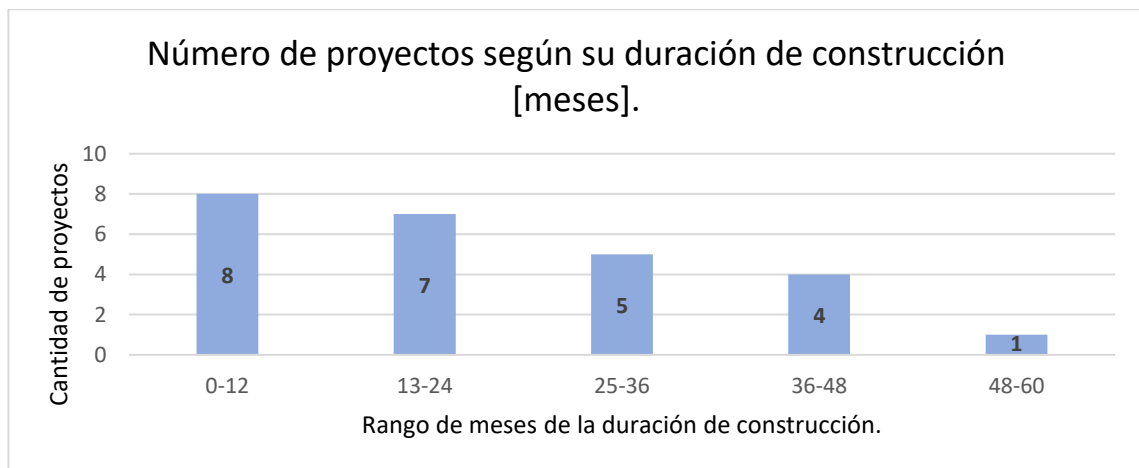
los residuos son retirados por una empresa autorizada; y en los dos proyectos restantes operan fosas sépticas.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Figura 7. Gráfica de la energía producida por cada proyecto en [MW].

La Figura 7 muestra de manera gráfica que la mayoría de los 25 proyectos estudiados produce energía en un rango de 90 a 153 [MW], solo ocho proyectos exceden ese rango, con niveles de energía entre los 308,7 y 743 [MW] de producción.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Figura 8. Gráfica de cantidad de proyectos estudiados según la duración de su construcción [meses].

En la Figura 8 se presenta la duración de construcción de los proyectos donde se observa que existe solo un proyecto que sobrepasa los 48 meses de la fase de construcción (ubicado en la comuna de Antofagasta) y que la mayoría no sobrepasa los 24 meses en empezar a operar.

La Tabla 3, presentada a continuación, indica los volúmenes totales de aguas servidas generadas que declaran estos proyectos en la fase de construcción en sus procesos de evaluación ambiental, lo cual depende del periodo que demore esta fase y de cuanto volumen se genere a diario. Los datos utilizados para conocer los volúmenes de aguas servidas generadas se presentan en la Tabla A2 del Anexo.

Tabla 3. Volumen promedio de aguas servidas generadas en la fase de construcción de cada proyecto.

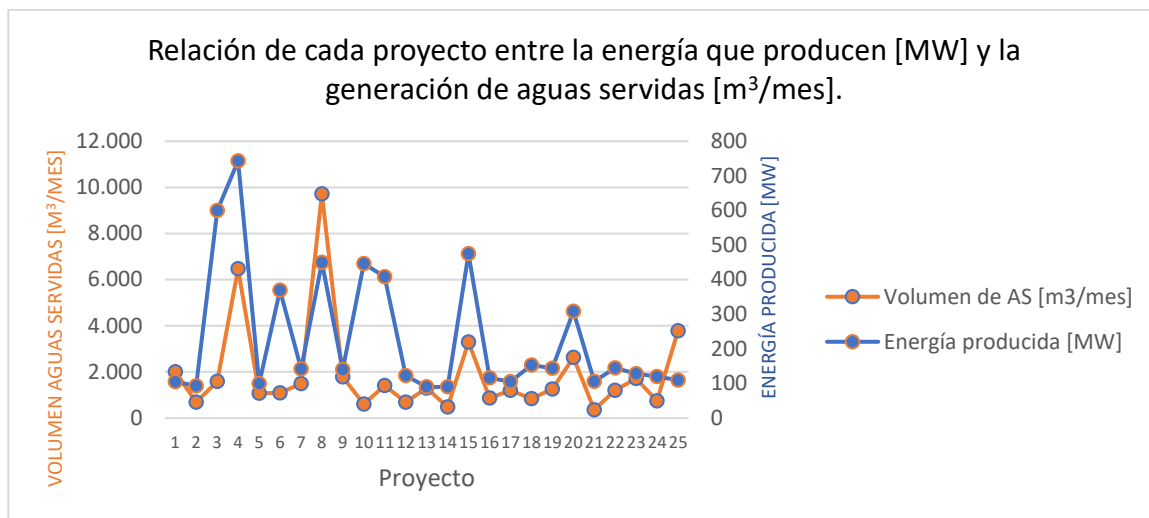
N°	Proyecto	Duración de construcción [meses]	Volumen de aguas servidas diarias [m ³ /día]	Volumen de aguas servidas mensuales [m ³ /mes]	Volumen de aguas servidas generadas en total [m ³]
1	Camarones	40	100	2.000	80.000
2	ALWA	14	22,8	684	9.576
3	Cielos de Tarapacá	54	52,8	1.584	85.536
4	Tamarugal Solar	36	216	6.480	233.280
5	Granja Solar	14	45	1.080	15.120
6	Sol del Desierto	48	36,4	1.092	52.416
7	Pampa Tigre	14	57,4	1.492	20.894
8	Likana Solar	36	324	9.720	349.920
9	CEME 1	27	81,1	1.784	48.173
10	Elena	40	20	600	24.000
11	Santa Isabel	36	47	1.410	50.760
12	Tamaya Solar	15	28,5	684	10.260
13	Solar Andino	12	43,2	1.296	15.552
14	Piedra Colgada	10	20	480	4.800
15	Luz del Oro	36	109,8	3.294	118.584
16	Libertad I y II	38	36	864	32.832
17	Valle Escondido	20	60	1.200	24.000

N°	Proyecto	Duración de construcción [meses]	Volumen de aguas servidas diarias [m ³ /día]	Volumen de aguas servidas mensuales [m ³ /mes]	Volumen de aguas servidas generadas en total [m ³]
18	Tamarico	9	28	840	7.560
19	Nuevo Futuro	18	57	1.254	22.572
20	Sol de Vallenar	21	87,5	2.625	55.125
21	Doña Antonia	11	18	360	3.960
22	Parque Solar Olmué	11	40	1.200	13.200
23	Quilapilún	12	57	1.800	21.600
24	Santiago Solar	12	25	750	9.000
25	Santa Marta de Marchigüe	12	157,5	3.780	45.360

Fuente: Elaboración propia; PAS 138/SEA, 2021.

De la Tabla 3 se destaca la variación de volumen de aguas servidas generadas por los proyectos. Al tratarse de proyectos que fluctúan entre 9 y 54 meses en ejecutar la fase de construcción del proyecto en total, se comparó lo generado en un mes de trabajo, observándose que el proyecto “Planta de Concentración Solar de Potencia Likana Solar”, de la intercomuna de Calama y Sierra Gorda (se ubica entre ambas comunas), presenta la mayor producción de aguas servidas y que el proyecto “Planta Solar Doña Antonia”, ubicado en la comuna de Ovalle, genera menor cantidad que el resto, con 9.720 [m³/mes] y 360 [m³/mes], respectivamente.

Analizando y contrastando los datos entregados de la Tabla 3 y las Figuras 7 y 8, se muestra en la Figura 9 la relación entre la energía que produce cada proyecto y la generación de aguas servidas mensuales en sus fases de construcción.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

Figura 9. Gráfica de relación entre producción energética [MW] y generación de aguas servidas [m³/mes] de cada proyecto en estudio.

En la Figura 9 se observa que existen proyectos como Planta de Concentración Solar de Potencia Likana Solar (n°8), quien genera 450 [MW] de energía, el cual comparado a proyectos con similar producción energética, como Proyecto Fotovoltaico Elena (n°10), Parque Fotovoltaico Santa Isabel (n°11) y Parque Solar Fotovoltaico Luz del Oro (n°15), los cuales generan 446, 408 y 475 [MW] respectivamente; no se asimila a los valores de volúmenes generados de aguas servidas, ya que “Likana Solar” genera 9.720 [m³/mes], mientras que “Elena”, “Santa Isabel” y “Luz del Oro” generan 600; 1.410 y 3.294 [m³/mes], lo cual sería cercano a un 6,2%, 14,5% y 33,9% respectivamente, de lo producido por Likana Solar en un mes en la fase de construcción. La ubicación de Likana Solar se encuentra en la intercomuna de Calama-Sierra Gorda, mientras que Elena, Santa Isabel se ubican ambas en la comuna de María Elena y Luz del Oro en la comuna de Diego de Almagro.

Otro ejemplo para destacar lo muestran los proyectos Parque Solar Andino (n°13) y Planta Solar Fotovoltaica Piedra Colgada (n°14), ubicadas ambas en la comuna de Copiapó, ya que ambas producen la misma cantidad de energía (90 [MW]) pero generan 1.296 [m³/mes] y 480 [m³/mes] de aguas servidas, respectivamente; es decir, casi 3 veces más de volumen de agua una empresa de otra.

En forma complementaria, en la Tabla 4 se muestra específicamente el Coeficiente de Correlación de Pearson para el análisis de correlación entre las variables de “Energía producida [MW]” y el “Volumen de aguas servidas generadas [m³/mes]” de los proyectos estudiados.

Tabla 4. Correlación de Pearson entre variables influyentes.

		Energía producida [MW]	Volumen generado de AS [m ³ /mes]
Energía producida [MW]	Correlación de Pearson	1	,548**
	Sig. (bilateral)		,005
	N	25	25
Volumen generado de AS [m ³ /mes]	Correlación de Pearson	,548**	1
	Sig. (bilateral)	,005	
	N	25	25

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral). Fuente: Elaboración propia; SPSS Statistics, 2021.

Se observa que la energía producida por los proyectos tiene una correlación positiva moderada con el volumen de aguas servidas que estos generan ($p=0,005$). Esto sugiere que no necesariamente las empresas que están produciendo mayor energía son las responsables del mayor consumo de agua y generación de aguas servidas.

Por otro lado, sobre las inspecciones que ha realizado la Autoridad Ambiental a los proyectos en estudio, en la Tabla 5 se muestran el número de fiscalizaciones impartidas por la SMA a cada proyecto sobre la RCA de cada uno y si existen fiscalizaciones que traten al respecto de PTAS.

Tabla 5. Fiscalizaciones realizadas a cada proyecto.

N°	Comuna	Duración de construcción [meses]	N° de fiscalizaciones	Fiscalizaciones sobre PTAS
1	Camarones	40	0	NO
2	Camarones	14	0	NO
3	Pozo Almonte	54	2	NO
4	Pozo Almonte	36	1	NO
5	Pozo Almonte	14	0	NO
6	Antofagasta	48	0	NO
7	Antofagasta	14	0	NO
8	Calama-Sierra Gorda	36	0	NO
9	María Elena	27	0	NO
10	María Elena	40	0	NO
11	María Elena	36	2	NO
12	Tocopilla	15	2	NO
13	Copiapó	12	0	NO
14	Copiapó	10	0	NO
15	Diego de Almagro	36	0	NO
16	Freirina	38	0	NO
17	Tierra Amarilla	20	2	NO
18	Vallenar	9	1	NO
19	Vallenar	18	0	NO
20	Vallenar	21	0	NO
21	Ovalle	11	0	NO
22	Olmué	11	0	NO
23	Colina	12	2	NO
24	Til-Til	12	0	NO
25	Marchigüe	12	0	NO

Fuente: Elaboración propia; SNIFA, 2021.

Se destaca principalmente en la Tabla 5 que no existen fiscalizaciones sobre las plantas de tratamiento de aguas servidas que operan en los proyectos fotovoltaicos, es

decir, no se sabe realmente si se están cumpliendo los compromisos adquiridos por los proyectos en materia de saneamiento hídrico en lo que respecta a su tratamiento, manejo y disposición final. Además, existe escasa fiscalización en general a cada parque solar estudiado, contabilizándose 12 fiscalizaciones en total entre todos los proyectos estudiados, tanto en la plataforma virtual SNIFA como por consultados por ley de Transparencia a la SMA.

3.1 Identificar y analizar la normativa vigente.

La legislación ambiental aplicable a cada proyecto se presenta identificando las normas, formas de cumplimiento, incluyendo las fases e indicadores asociados. La legislación ambiental considera aquellas normas cuyo objetivo es asegurar la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, imponiendo obligaciones y/o exigencias al titular que deben ser acreditadas por éste en el proceso de evaluación. Existen normas generales aplicables a cada proyecto, normas de emisión, descargas y residuos, y normas relacionadas con componentes ambientales.

A continuación, en la Tabla 6 se individualizan cada una de las normas y reglamentos relacionados a residuos líquidos domésticos, lo cual contempla el correcto funcionamiento de las PTAS instaladas en cada parque, como también el manejo y disposición de las aguas servidas generadas. Se muestra una columna sobre la relación que tienen los proyectos con cada norma, entregando algunas opciones que faculta la ley que pueden realizar. Además, en la Tabla A3 del Anexo se muestran además los límites máximos de los requisitos químicos en agua para riego según la NCh 1.333/78.

Tabla 6. Normativa relacionada a tratamiento de aguas servidas en Chile.

Norma.	Materia regulada.	Relación con los proyectos estudiados.
Ley N° 21.075/2018 Ministerio de Obras Públicas.	Establece la recolección y tratamiento de aguas grises, en las áreas urbanas y rurales, para fines de interés público en el riego de áreas verdes, parques o centros deportivos públicos.	Reutilización de las AS tratadas en diferentes usos, tales como riego de áreas verdes, humectación de caminos y elaboración de mezcla con Bischofita.
Decreto N° 90/2000 Secretaría General de la Presidencia. Ministerio de la	Establece la protección ambiental previniendo la contaminación de las aguas marinas y continentales superficiales de Chile, mediante el control de contaminantes asociados a los residuos líquidos que se descargan a estos cuerpos receptores. Se establecen límites máximos permitidos para la descarga a cuerpos de agua.	Instalación de PTAS para la prevención de contaminación de aguas marinas y continentales cumpliendo con los límites máximos permitidos establecidos.
Decreto con Fuerza de Ley N° 725/1967 Ministerio de Salud.	En el artículo 71 letra b) se establece la obligatoriedad de autorización sanitaria para los proyectos y la puesta en servicios de las obras destinadas a la evacuación, tratamiento o disposición final de desagües, aguas servidas de cualquier naturaleza y residuos industriales.	Instalación de PTAS.
Decreto Supremo N° 236/1926 Ministerio de Higiene, Asistencia, Previsión y Trabajo.	Se refiere a la manera de disponer de las aguas servidas caseras, en las ciudades, aldeas, pueblos, caseríos u otros lugares poblados de la República, en que no exista una red de alcantarillado público, y en general a todo edificio público o particular, urbano o rural, (...) que no puedan descargar sus aguas residuales en alguna red cloacas existente.	Instalación de PTAS o fosas sépticas.
Decreto Supremo N° 4/2009 Ministerio Secretaría General de la Presidencia.	Establece la clasificación sanitaria de los lodos y las exigencias sanitarias mínimas para su manejo, además de las restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en determinados suelos.	Manejo de lodos de PTAS, ya sea por el mismo proyecto o que terceros realicen la disposición final en lugares autorizados.
NCh 1.333 of 78	Se fija un criterio de calidad del agua de acuerdo con requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado. Tiene como objetivo proteger y preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos, de la degradación producida por contaminación con residuos de cualquier tipo u origen.	Cumplir con el criterio de calidad si se desea utilizar el agua tratada proveniente de las PTAS como agua de riego en frentes de trabajo, caminos u otros usos que se pueda requerir.

Norma.	Materia regulada.	Relación con los proyectos estudiados.
NCh 411/10 - 2005	Se describe los materiales, equipos, procedimientos y técnicas de extracción de muestras que se deben aplicar para ejecutar el muestreo de aguas residuales tratadas y no tratadas.	Esta norma se aplica al muestreo de AS efectuado por entidades de muestreo, sean autónomas o que formen parte del proyecto.

Fuente: Elaboración propia; Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021.

3.2 Establecer el grado de cumplimiento y fiscalización de los compromisos ambientales asociados al tratamiento de las aguas residuales.

A continuación, se presenta en la Tabla 7 el tipo y grado de tratamiento que emplean las PTAS de cada proyecto según indican en sus EIA/DIA (PAS 138), además del manejo y uso de las aguas tratadas que se comprometen a practicar. Por último, se establece el grado de cumplimiento de los casos estudiados (del 1 al 5, siendo 1 la más baja; NF si no existe fiscalización) en base al informe de fiscalización de la Autoridad Ambiental contrastado con la propuesta de cada uno.

Tabla 7. Grado de cumplimiento de la normativa vigente de los proyectos fotovoltaicos estudiados.

N°	Comuna	Tipo de tratamiento/Grado de tratamiento	Manejo y uso de las aguas tratadas	Grado de cumplimiento (1-5)
1	Camarones	Lodos activados/ Secundario	Humedecimiento de superficies al interior de las plantas.	NF
2	Camarones	Lodos activados/ Terciario	Riego de frentes de trabajo, caminos y otros usos industriales.	NF
3	Pozo Almonte	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos, elaboración de mezcla con Bischofita y riego de áreas verdes.	NF
4	Pozo Almonte	Lodos activados/ Secundario	Riego de caminos y disposición en terreno natural.	NF
5	Pozo Almonte	No existe PTAS en FC/ No aplica	-	NF
6	Antofagasta	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos, riego de áreas verdes y elaboración de mezcla con Bischofita.	NF
7	Antofagasta	Lodos activados/ Secundario	Posibilidad de humectar los frentes de camino.	NF
8	Calama-Sierra Gorda	Lodos activados/ Terciario	Riego de caminos y producción de hormigón.	NF
9	María Elena	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos.	NF
10	María Elena	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos y elaboración de mezcla con Bischofita.	NF

N°	Comuna	Tipo de tratamiento/Grado de tratamiento	Manejo y uso de las aguas tratadas	Grado de cumplimiento (1-5)
11	María Elena	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos y estabilización de zonas de excavaciones.	NF
12	Tocopilla	Fosa séptica/ No aplica	Infiltración al subsuelo.	NF
13	Copiapó	Lodos activados/ Terciario	Riego de caminos y huellas de acceso.	NF
14	Copiapó	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos y riego de áreas verdes.	NF
15	Diego de Almagro	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos y riego de áreas verdes.	NF
16	Freirina	Lodos activados/ Terciario	Infiltración al subsuelo.	NF
17	Tierra Amarilla	Lodos activados/ Terciario	Humectación de frentes de trabajo o retiro por empresas externas y dispuestos en lugares autorizados.	NF
18	Vallenar	Fosa séptica/ No aplica	Infiltración al subsuelo.	NF
19	Vallenar	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos y elaboración de mezcla con Bischofita.	NF
20	Vallenar	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos y actividades de construcción.	NF
21	Ovalle	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos.	NF
22	Olmué	Lodos activados/ Terciario	Retiro y traslado por empresa autorizada.	NF
23	Colina	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos internos y huellas de acceso.	NF
24	Til-Til	Lodos activados/ Terciario	Humectación de caminos internos u otras áreas.	NF
25	Marchigüe	Lodos activados/ Terciario	Humectación de superficies.	NF

Fuente: Elaboración propia; PAS 138/SEA, 2021.

A partir de la información de la Tabla 7 no se puede establecer el grado de cumplimiento dado que no existe fiscalización (NF) por parte de la Autoridad Ambiental y no se conoce si las empresas titulares de los proyectos cumplen con sus compromisos adquiridos. Como se mencionó anteriormente en el escrito, los elementos que serían evaluados con su grado de cumplimiento para cada proyecto eran: (i) el volumen de agua declarado/consumido, (ii) funcionamiento de PTAS, (iii) características de los parámetros medibles y cumplimiento de la norma, (iv) disposición final y finalmente, (v) uso de las aguas tratadas. En el supuesto escenario de que el proyecto n°3 “Cielos de Tarapacá”, ubicado en la comuna de Pozo Almonte, hubiese sido fiscalizado, y por ejemplo tendría un grado de cumplimiento 4, se podría tener que

(i) el volumen de agua que declaran es similar al consumido; (ii) el tipo de tratamiento, en este caso, lodos activados, y el grado de tratamiento terciario operan de manera correcta, sin fallos en los procesos; (iii) existen parámetros, tales como pH y DBO_5 que están fuera del rango admitido, por lo cual no cumplen con este grado de cumplimiento; (iv) se dispone y distribuye el agua tratada hacia depósitos correctamente convenidos para su posterior uso y finalmente (v) se usa el agua tratada para regar áreas verdes, humectar caminos y crear la mezcla de Bischofita, como se estableció en el DIA/EIA de este proyecto. Es decir, Cielos de Tarapacá en este supuesto escenario cumple con 4 de los 5 elementos evaluados, con faltas solamente en el punto (iii). De esta forma hubiese sido más claro qué proyectos están operando de manera óptima, cuales requieren de alguna mínima intervención o cuales están incumpliendo con varios o todos los elementos, lo cual podría ser perjudicial para las comunas del país con déficit hídrico.

Por otra parte, se puede observar de la Tabla 7 que el 76% de los proyectos contempla hasta tratamiento terciario en sus procesos de eliminación de contaminantes de sus aguas domésticas residuales, mientras que el 12% de los proyectos estudiados contempla hasta un grado de tratamiento secundario o no aplican ningún tipo de estos tratamientos. También se advierte de la Tabla 7 que el 56% de los proyectos analizados establece como manejo de sus aguas servidas tratadas la humectación de caminos, riego de superficies y huellas de acceso, mientras que solo un 11% reutiliza el agua tratada en riego de áreas verdes o elabora mezcla con Bischofita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Dentro de la DIA o EIA de cada proyecto, según sea el caso, los titulares difieren en la entrega de información de los parámetros analizados de las aguas servidas

tratadas, ya que algunos no informan sobre todos los valores de parámetros indicados en la norma y que debiesen evaluar. En la Tabla 8 que se presenta a continuación, se muestran las principales características fisicoquímicas y sus valores estándares de las aguas servidas tanto como afluentes y como efluentes.

Tabla 8. Principales características fisicoquímicas estándares de las aguas servidas pretratamiento y el valor esperado postratamiento según uso para riego.

Contaminante o Indicador	Unidad	Valor estándar del afluente	Valor esperado del efluente
pH		6 - 8	6 - 8
Temperatura	°C	20	25 - 30
Sólidos suspendidos totales	mg/L	220	80
Aceites y grasas	mg/L	60	20
DBO ₅ (a 20°C)	mg O ₂ /L	250	35
Fósforo total	mg/L	10	0,05 - 10
Nitrógeno total	mg/L	50	50
Cloruros	mg/L	400	200
Coliformes fecales	NMP/100 mL	10 ⁷ - 10 ⁸	10 ³

Fuente: Elaboración propia/D.S.90.

Existen proyectos como “Parque Fotovoltaico Pampa Tigre”, “Proyecto Solar Valle Escondido” y “Parque Fotovoltaico Santiago Solar” que señalan los valores de solo tres parámetros de la calidad del efluente en su declaración (DBO₅, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales), mientras que proyectos como “Cielos de Tarapacá”, “Parque Solar Fotovoltaico Sol del Desierto” y “Planta Solar Fotovoltaica Libertad I y II” señalan los mismos tres parámetros, pero cada uno incluye un cuarto parámetro distinto, ya sea nitrógeno total, pH u oxígeno disuelto, respectivamente a cada proyecto. En tanto existe un único proyecto, como “Parque Solar Fotovoltaico ALWA”, que declara un mayor número de parámetros a considerar con sus valores esperados. El resto de los casos estudiados (los 18 proyectos restantes que no se han mencionado) no señalan en sus DIA/EIA ningún valor esperado de ningún parámetro

para los efluentes generados de aguas servidas tratadas. Es importante señalar que no existe algún ordenamiento normativo que exija a los proyectos presentar en sus declaraciones este tipo de información. Además, las características fisicoquímicas del recurso hídrico tratado dependerán del uso que se le quiera otorgar después del tratamiento, ya que los límites exigidos para el riego de áreas verdes difieren a los valores impuestos para el consumo humano o la que se destina a aguas continentales o marinas.

3.3 Últimos avances en materia de tratamiento de aguas servidas.

En la Tabla 9 se muestran las principales conclusiones obtenidas de los 20 artículos científicos seleccionados en función de la materia que tratan, como lo es eficiencia energética, factores subyacentes (diseño y tamaño, tipo de tecnología y eficiencia de eliminación de contaminantes) y emisión de gases con efecto invernadero. Además, se incluye el lugar donde se realizó cada estudio y el tipo de clima (según Köppen).

Tabla 9. Revisión de artículos sobre PTAS.

Título del artículo (Autor(es), Año)	Materia	Lugar de estudio	Tipo de Clima	Principales conclusiones
<i>Energy efficiency evaluation of wastewater treatment plants (WWTPs) based on data envelopment analysis (Yang & Chen, 2021).</i>	Eficiencia energética	China (todas sus regiones).	Variado (Ej. Subtropical húmedo, Monzón, Tundra, Semiárido, etc.).	<ul style="list-style-type: none"> - Necesidad de identificar condiciones locales, procesos técnicos y normas de descargas como factores de influencia en el ahorro energético. - Se consigue mayor EE con métodos de biodegradación.

Título del artículo (Autor(es), Año)	Materia	Lugar de estudio	Tipo de Clima	Principales conclusiones
<i>Evaluating the energy efficiency of wastewater treatment plants in the Yangtze River Delta: Perspectives on regional discrepancies (Huang et al., 2021).</i>	Eficiencia energética	Regiones de Jiangsu, Anhui, Zhejiang y Shanghai; China.	Subtropical húmedo.	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe invertir y poner en uso tecnologías de autorrecuperación de energía. - Factores como la capacidad diseñada y la tasa de carga tienen un impacto significativo en el ahorro energético.
<i>Energy performance factors in wastewater treatment plants: A review (Cardoso et al., 2021).</i>	Eficiencia energética	Ámerica del Norte, Europa Occidental, Australia, Chile, China, Japón, Sudáfrica, entre otros.	Variado.	<ul style="list-style-type: none"> - Lodos activados con BNR se consideran más eficientes energéticamente que procesos CAS. - La EE debe evaluarse con enfoque holístico y multicriterio.
<i>Towards energy positive wastewater treatment plants (Gikas, 2017).</i>	Eficiencia energética	Grecia (no específica región).	Mediterráneo.	<ul style="list-style-type: none"> - La eliminación mejorada de sólidos en el pretratamiento genera biosólidos, los cuales mediante digestión anaeróbica producen biogás y posteriormente energía eléctrica.
<i>Environmental life cycle impacts of small wastewater treatment plants: Design recommendations for impact mitigation (Pham et al., 2021).</i>	Factores Subyacentes: Diseño y tamaño	Estados Unidos (todos sus Estados).	Variado.	<ul style="list-style-type: none"> - El diseño de una instalación más pequeña y densa generalmente reduce el impacto ambiental asociado. - Evitar la elección de un sobrediseño significativo puede conducir a mitigaciones en el uso de electricidad de por vida.
<i>Assessment of small mechanical wastewater treatment plants. Relative life cycle environmental impacts of construction and operations (Moussavi et al., 2021).</i>	Factores Subyacentes: Diseño y tamaño	Estados Unidos (todos sus Estados).	Variado.	<ul style="list-style-type: none"> - Los impactos ambientales de la construcción de una PTAS disminuyen con el aumento de la vida útil del diseño.
<i>Sustainable design of large wastewater treatment plants considering multi-criteria decision analysis and stakeholders' involvement (Gherghel et al., 2020).</i>	Factores Subyacentes: Diseño y tamaño	Región de Apulia; Italia.	Mediterráneo.	<ul style="list-style-type: none"> - La selección del diseño no debe ejercerse con un enfoque unidimensional, sino de acuerdo con una metodología multicriterio. - La evaluación estrechamente técnica no es la solución al problema, sino el punto de partida para una fase de discusión por parte de las diversas partes interesadas.
<i>Using a detailed inventory of a large wastewater treatment plant to estimate the relative importance of</i>	Factores Subyacentes: Diseño y tamaño	Región de Cataluña; España.	Mediterráneo.	<ul style="list-style-type: none"> - Un nivel inadecuado de uso de los materiales y recursos durante los procesos de construcción, operación y cierre influye significativamente en la estimación de los impactos ambientales de las PTAS.

Título del artículo (Autor(es), Año)	Materia	Lugar de estudio	Tipo de Clima	Principales conclusiones
<i>construction to the overall environmental impacts (Morera et al., 2017).</i>				
<i>Industrial wastewater treatment: Current trends, bottlenecks, and best practices (Dutta et al., 2021).</i>	Factores Subyacentes: Tipo de tecnología	No específica.	No aplica.	<ul style="list-style-type: none"> - Métodos actuales (ej. Lodos activados) son efectivos, pero no muy eficientes. - Se requieren enfoques de Economía Circular, PLR y conversión de aguas residuales en biofábrica. - Procesos eficientes y con mayor beneficio a las industrias: pirometalurgia, biolixiviación, biohidrometalurgia, entre otros.
<i>Technical, economic and environmental feasibility of resource recovery technologies from wastewater (Yadav et al., 2021).</i>	Factores Subyacentes: Tipo de tecnología	No específica.	No aplica.	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe cambiar la atención de un modelo lineal hacia una estrategia circular de modo que los contaminantes no solo se eliminen, sino que también se recuperen. El potencial de recuperación aumenta cuando se analizan e incorporan tecnologías innovadoras en las PTAS.
<i>A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants—market supply potentials, technologies and bottlenecks (Kehrein et al., 2020).</i>	Factores Subyacentes: Tipo de tecnología	Región de Flandes; Bélgica y Países Bajos.	Templado húmedo.	<ul style="list-style-type: none"> - Existe inmadurez técnica y/o cuellos de botella no técnicos (económicos, ambientales, sociales y políticos) que dificulta la aplicación de nuevas tecnologías.
<i>Municipal wastewater treatment plants coupled with electrochemical, biological and bio-electrochemical technologies: Opportunities and challenge toward energy self-sufficiency (Tang et al., 2019).</i>	Factores Subyacentes: Tipo de tecnología	No específica.	No aplica.	<ul style="list-style-type: none"> - La tecnología electroquímica es un método de tratamiento eficaz, sin embargo, consume energía en el proceso de operación. - Tecnologías biológicas y bioelectroquímicas pueden proporcionar el suministro de energía necesario para los procesos electroquímicos.
<i>Phycoremediation of wastewater for pollutant removal: A green approach to environmental protection and long-term remediation (Priyadharshini et al., 2021).</i>	Factores Subyacentes: Eliminación de contaminantes	No específica.	No aplica.	<ul style="list-style-type: none"> - La ficoremediación elimina eficazmente los contaminantes junto con los métodos convencionales. - La biomasa de algas se puede utilizar como materia prima para biochar, biocombustible, H₂ y generación de electricidad.

Título del artículo (Autor(es), Año)	Materia	Lugar de estudio	Tipo de Clima	Principales conclusiones
<i>Nutrient removal from domestic wastewater: A comprehensive review on conventional and advanced technologies (Rout et al., 2021).</i>	Factores Subyacentes: Eliminación de contaminantes	No específica.	No aplica.	- Se recomienda un enfoque integrado para la eliminación y recuperación simultánea de nutrientes.
<i>Biosorption as environmentally friendly technique for heavy metal removal from wastewater (Saini et al., 2020).</i>	Factores Subyacentes: Eliminación de contaminantes	No específica.	No aplica.	- La técnica de biosorción es aplicable para la eliminación de metales pesados, pesticidas y colorantes. - La biosorción ha sido designada como una de las técnicas más económicas, viables y ecológicas para la remediación del agua contaminada.
<i>Resource recovery from wastewater biological technologies: Opportunities, challenges, and prospects (Puyol et al., 2017).</i>	Factores Subyacentes: Eliminación de contaminantes	No específica.	No aplica.	- Los procesos biotecnológicos ofrecen una forma económica y versátil de concentrar y transformar los residuos de AS en productos valiosos. - En lugar de centrar el proceso en la eliminación de contaminantes, se debe centrar en la recuperación de aquellos que se pueden reutilizar.
<i>Environmental impacts and greenhouse gas emissions assessment for energy recovery and material recycle of the wastewater treatment plant (Nguyen et al., 2021).</i>	Emisión de GEI	Condado Innlandet; Noruega.	de Continental húmedo.	- El reciclaje de materiales utilizados en la construcción de PTAS reduce los peligros que plantean las emisiones de GEI y el daño ambiental. - Cuanto menor sea el uso de energía fósil, mayor será el potencial para evitar los GEI.
<i>Advances in technological control of greenhouse gas emissions from wastewater in the context of circular economy (Pahunang et al., 2021).</i>	Emisión de GEI	No específica.	No aplica.	- Las tecnologías electroquímicas microbianas y el cultivo de microalgas capturan CO ₂ de manera eficiente. - La modificación de las PTAS convencionales a tecnologías de captura de carbono tiene potencial para equiparar el costo operativo y generar ingresos adicionales.
<i>Greenhouse gases emission control in WWTS via potential operational strategies: A critical review (Kumar et al., 2021)</i>	Emisión de GEI	No específica.	No aplica.	- Las soluciones pragmáticas para la mitigación de los GEI siguen siendo muy limitadas. - La mayoría de las tecnologías de control de GEI disponibles o los enfoques de mitigación son costosos o no son adecuados para ser aplicados a nivel de campo.

Título del artículo (Autor(es), Año)	Materia	Lugar de estudio	Tipo de Clima	Principales conclusiones
<i>Efficiency assessment of urban wastewater treatment plants in China: Considering greenhouse gas emissions (Zeng et al., 2017).</i>	Emisión de GEI	China (todas sus regiones).	Variado (Ej. Subtropical húmedo, Monzón, Tundra, Semiárido, etc.).	- La escala de las plantas, la tecnología y la capacidad de tratamiento terciario son parámetros significativos para explicar las disparidades de eficiencia en el control de emisiones de los GEI de diferentes plantas.

Fuente: Elaboración propia, 2021.

IV. DISCUSIÓN

4.1 Caracterización del área de estudio y selección de proyectos fotovoltaicos.

La selección de proyectos en el área de estudio caracterizada (Zona Norte y Centro de Chile) posee altos niveles de radiación y baja disponibilidad hídrica, lo cual genera la discusión respecto a la viabilidad o sostenibilidad de la implementación de proyectos fotovoltaicos en estas zonas, dado el consumo de agua que estos requieren, principalmente en su etapa de construcción.

Según lo indicado en la sección 3.1 del presente escrito, se observa que el consumo de agua entre proyectos presenta una variación importante de volumen entre 360 y 9.720 [m³/mes], lo que tiene cierta correlación con la producción energética declarada. Para comparar estos datos y visualizar si es significativo el consumo que presentan estos proyectos, se observa el consumo que existe por persona de agua potable. Según datos del Servicio Nacional del Consumidor, en Chile una persona consume en promedio 5 [m³/mes], y un hogar, compuesto por cuatro personas, consumen en promedio 20 [m³/mes], es decir, las plantas solares generan entre 18 y 486 veces más aguas residuales que un hogar en Chile, lo anterior debido en parte a la cantidad de personas que trabajan en la etapa de construcción de este tipo de proyectos.

Según lo obtenido de los datos estudiados, la correlación moderada positiva que existe entre la energía que producen los proyectos y el volumen de aguas servidas que estos generan indica que, por un lado, los proyectos que son de mayor envergadura requieren de mayor personal, mayores áreas de trabajo y por ende, mayor consumo de agua, lo que ocasionará mayor volumen de aguas residuales a tratarse; pero por otro

lado, al ser una correlación moderada y no alta, indica que existen plantas fotovoltaicas que, al producir mayor generación de energía, no necesariamente generan altos volúmenes de aguas servidas, o por el contrario, parques solares con valores cercanos a 100 MW (los valores menores estudiados) de generación, consumen cantidades de agua similares a los proyectos que triplican su rendimiento energético (300 MW).

Esta diferencia de generación de aguas servidas entre proyectos con similitud en producción energética puede explicarse debido al tipo de tecnología empleada por las PTAS, ya que existen procesos y/o procedimientos poco eficientes con respecto al uso indiscriminado de agua. Dicha diferencia se esperaría que fuese regulada y fiscalizada por algún estamento que certifique que la utilización de agua sea la correcta, o que tal cantidad de agua utilizada, al transformarse a residual, sea tratada efectivamente, cumpliendo la normativa vigente y que su reutilización cumpla con los compromisos adquiridos por las empresas fotovoltaicas. En total se observó que la institucionalidad ambiental en Chile solo ha fiscalizado en 12 ocasiones las RCA de los proyectos estudiados. En esas 12 fiscalizaciones, ninguna ha sido relacionada con los compromisos adquiridos por las empresas sobre el consumo y manejo del recurso hídrico ni el tratamiento de las aguas servidas que estos generan, es decir, no es posible confirmar si los volúmenes de agua que las plantas solares consumen, y que posteriormente tratan, están siendo utilizados de manera eficiente, en base a los compromisos asumidos y la legislación vigente.

4.2 Identificar y analizar la normativa vigente.

La calidad del agua es un término utilizado para describir las características químicas, físicas y biológicas de ésta. A su vez, la clasificación de calidad depende

principalmente del uso que se le da al recurso, ya sea para agua potable, riego u otro. El uso de agua de calidad insuficiente puede tener impactos negativos en la salud de las personas y en la conservación del medio ambiente. La problemática de la calidad del agua suele quedar invisibilizada por el desbalance hídrico o las situaciones de sequía e inundaciones, aun cuando debería ser un tema relevante por considerar en la toma de decisiones.

Chile cuenta con normas primarias y secundarias de calidad de aguas y de descarga a cuerpos de agua para control de la contaminación. Las dos normas principales de emisión de contaminantes a cuerpos de agua son: El DS N° 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia que regula la emisión de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, cuya revisión está en trámite desde 2006. El DS N° 46/2002 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia que regula la emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas, cuya revisión se encuentra en trámite desde 2018.

Esto da cuenta de que el tema de la calidad de las aguas no ha sido prioritario en la gestión de los recursos hídricos en Chile. El Ministerio de Salud (MINSAL) y la SISS también tienen atribuciones de control de calidad del agua potable para efectos del consumo en zonas urbanas y rurales, incluyendo fuentes superficiales y subterráneas. En el caso del MINSAL, entrega las autorizaciones sanitarias para las plantas de tratamiento de agua potable y las certificaciones para los estanques de distribución de agua potable mediante camión aljibe. En cuanto a la SISS, fiscaliza los programas de monitoreo de los sistemas de tratamiento de aguas servidas de escala industrial que hoy operan en el país.

La institucionalidad vigente para la gestión del agua en Chile presenta una serie de problemáticas que han sido identificadas de manera general, dentro de las que se encuentran: i) falta de consolidación e integración de la información generada por las instituciones involucradas en la gestión del agua; ii) inadecuada delimitación y coordinación de funciones entre organismos; iii) ausencia de una autoridad política superior que coordine las funciones e instituciones del Estado en materia hídrica; y, iv) falta de coordinación de los actores responsables de la gestión del agua a nivel local, en una misma unidad geográfica; entre otras.

En Chile, recién se ha comenzado a abordar el desafío de la regulación del uso de aguas residuales tratadas para fines productivos. La Ley N° 21.075 que regula la recolección, reutilización y disposición de aguas grises, publicada el 15 de febrero de 2018, es una primera iniciativa en este sentido, normando el reúso de este tipo de aguas en zonas rurales y urbanas. Un análisis de las normativas que existen y pudieran ser aplicables al reúso de aguas residuales tratadas, expone que la Corte Suprema facultó a la SISS para dirimir respecto de la obligación de las sanitarias de descargar aguas tratadas a los cauces naturales, pero no se hace una referencia a una regulación expresa al reúso (FCH, 2016).

Se deben tomar medidas para asegurar que las PTAS funcionen de manera adecuada y, por consiguiente, que uno de los reúsos que se le puede otorgar a las aguas residuales tratadas, como el regado a cultivos, sean desarrollados sin riesgo de contaminación para los consumidores, trabajadores agrarios, población aledaña y el medio ambiente. Para estos efectos, se recomienda aplicar protocolos y recomendaciones internacionales relacionados con la calidad de las aguas reusadas, el cultivo o actividad para las que se reutilizarán y medidas de mitigación.

Sería necesario elaborar una política nacional coherente para el reúso de aguas residuales tratadas provenientes de PTAS, definiendo responsabilidades entre los diferentes estamentos gubernamentales y autoridades involucradas. El desarrollo de una Agencia Nacional del Agua o una Subsecretaría de Recursos Hídricos, o la creación de un comité que represente los principales grupos interesados en el tema es de vital importancia, incluyendo actores de planificación, salud, obras públicas, agricultura, medio ambiente, comercio y representantes de los diferentes sectores productivos interesados. Esto permitirá establecer los mecanismos institucionales para hacer del reúso de las aguas residuales tratadas una práctica segura, tal como ha ocurrido en muchos países donde se ha aplicado, como Israel, Singapur y Australia.

4.3 Establecer el grado de cumplimiento y fiscalización de los compromisos ambientales asociados al tratamiento de las aguas residuales.

El grado de fiscalización por parte de la Autoridad Ambiental es nula. No existen estudios o datos sobre el destino de las aguas residuales tratadas generadas en la etapa de construcción de proyectos solares, o como éstas se manejan o disponen, si se cumplen con los límites de los parámetros físicos, químicos y biológicos establecidos para su reutilización, entre otros elementos. Tales volúmenes de aguas servidas tratadas, en zonas donde el agua es un bien escaso, como las comunas de Pozo Almonte o María Elena, podrían ayudar a combatir el déficit hídrico, gestionando su uso para riego de áreas verdes, uso industrial, uso minero, recarga de acuíferos, riego en la agricultura, uso recreacional, y de ser necesario, para consumo e higiene personal.

Según la información entregada por los proyectos analizados, la mayoría de los proyectos solares establece un grado de tratamiento terciario en sus procesos de eliminación de contaminantes, lo cual podría implicar que el producto obtenido del tratamiento de las aguas residuales, presenta estándares de calidad suficientes como para ser utilizado en diversos usos; pero por otro lado se observa que, según lo observado de las declaraciones de las empresas, solo un 11% destina las aguas servidas tratadas en riego de áreas verdes, mientras que el resto de usos que se les da al producto hídrico pertenece a uso industrial de la mismas plantas solares, humectando caminos, frentes de trabajo y en la creación de la mezcla con Bischofita ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), lo cual controla y mitiga la suspensión de polvo en caminos no pavimentados. El reuso que se le quiere dar a este recurso influirá en el tipo de tratamiento que se realice, como también en los valores de las características fisicoquímicas que se les debe requerir, pero si se desea encaminar hacia propuestas que beneficien a la sociedad en general, debe estandarizarse la administración y funcionamiento de las plantas de aguas servidas en todos los proyectos fotovoltaicos para poder otorgar y exigir un producto hídrico acorde a lo normado.

La gestión que puede realizarse con los volúmenes de aguas servidas es materia poco explorada en Chile. Actualmente existe la tecnología para tratar y obtener el agua con una calidad tal que se le puede dar un uso posterior, tanto productivo, de abastecimiento o de mitigación de las situaciones de estrés hídrico. En regiones del mundo se pueden encontrar ejemplos de utilización de aguas de reuso para riego y en la agricultura, como en Ciudad de México, que se usan aproximadamente 2 [m³/s] de agua de reuso en agricultura, riego de áreas verdes y recarga de lagos recreacionales (FCH, 2016); o como recarga de acuíferos, donde se reportan casos en Israel, África

del Sur, Alemania e Italia; también uso urbano, como en Filipinas, donde el agua de reúso desde un mercado público se utiliza para inodoros, limpieza de calles y para riego de plantas (FCH, 2016). Una amplia variedad de industrias, incluyendo lavanderías comerciales, establecimientos de lavado de vehículos, industrias de papel, de producción de acero, textiles, alimentación de calderas, procesamiento de carne, fábricas de cerveza y de bebidas, y plantas de energía, tienen la capacidad de utilizar agua de reúso en sus operaciones.

A nivel monetario, los sectores económicos que dependen en gran medida del suministro de agua podrían aumentar su acceso al suministro de agua potable con la reutilización del agua y mejorar la resiliencia a la escasez de agua y al cambio climático. La reutilización del agua también contribuye a reducir los obstáculos de desarrollo económico de los países cuando estos se ven limitados por la escasez de agua, o también puede eliminar la necesidad de invertir en otros esquemas de suministro de agua, como la desalinización de agua de mar (Sa'ad *et al.*, 2021).

4.4 Últimos avances en materia de tratamiento de aguas servidas.

Dados los avances tecnológicos que permiten abaratar costos de operación y distribución, y aumentan la calidad de las aguas servidas tratadas, las posibilidades de uso de estas aguas con fines productivos, e incluso para consumo humano (como ocurre en países tales como Singapur, Israel o Australia), imponen nuevos desafíos en el presente. Si bien la revisión bibliográfica presentada en este estudio enseña artículos realizados en distintas regiones del planeta -por ende, a distintos tipos de climas en comparación al norte y centro de Chile-, podría suponer que la mayoría de las conclusiones no son aplicables a la geografía de este país, ya que PTAS analizadas en un clima de tundra o de monzón no debiesen asemejarse a las plantas

instaladas en un clima árido, semiárido o mediterráneo; pero en realidad las recomendaciones sobre eficiencia energética, factores subyacentes (diseño y tamaño de PTAS, tipos de tecnología y eliminación de contaminantes) y emisión de GEI apuntan a temas relacionados con políticas públicas o enfoques más específicos sobre alguna de estas materias, de hecho algunos de estos artículos presentaban comparaciones entre PTAS ubicadas por todo China, es decir, zonas con climas distintos y aún así se lograban determinar conclusiones relevantes para el avance técnico y tecnológico en materia de tratamiento de aguas servidas, por lo cual este tipo de investigaciones pueden aportar al desarrollo más eficiente de PTAS en Chile.

Desde las principales ideas obtenidas de la revisión bibliográfica se tiene que muchas nuevas tecnologías están contribuyendo al desafío de la recuperación de recursos de las aguas residuales, por ejemplo, los métodos biológicos ofrecen la alternativa más viable para recuperar eficientemente recursos valiosos de flujos diluidos. La próxima generación de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas apunta a la neutralidad energética y la recuperación completa de nutrientes, particularmente Nitrógeno y Fósforo. También hay cada vez más impulsores para recuperar productos valiosos de desechos y aguas residuales de diferente naturaleza. Los recursos que pueden ser recuperados por las nuevas tecnologías incluyen metales pesados, preciosos o radiactivos, y contaminantes emergentes como fármacos, enzimas, hormonas, fertilizantes y bioplásticos. A pesar de que se han dedicado algunos esfuerzos para recuperar estos valiosos recursos, todavía es necesario mejorar y consolidar las opciones para recuperar y reutilizar estas sustancias.

Dado la creciente demanda del recurso hídrico, se requieren más estudios de investigación y una actualización de la tecnología para optimizar y mejorar el tratamiento efectivo de las enormes cantidades de aguas residuales generadas. Aunque algunos de los procesos tienen altos costos de instalación inicial junto con costos operativos y de mantenimiento, primordialmente se deben considerar los beneficios para el medio ambiente y la salud humana. La tecnología adecuada para la recuperación eficiente de recursos de las aguas residuales y el uso de esta para otras aplicaciones puede ser una gran ventaja para el crecimiento económico general del país, al mismo tiempo que el medio ambiente y sus recursos naturales pueden mantenerse y protegerse bien.

La existencia de tecnología de punta para tratar las aguas residuales, así como de una normativa que facilite y fomente el reúso, son factores que contribuirán a una implementación responsable de este método para la generación de nuevas fuentes de agua para la población. Lo concreto es que naturalmente esto debe ser parte de una política global y es por lo cual, la política hídrica debería considerar aspectos relacionados con la eficiencia hídrica, incluyendo educación a edades tempranas sobre el uso eficiente del recurso, clasificación de equipos, tecnologías y maquinarias en función de su eficiencia, y políticas que incentiven el uso eficiente del recurso.

V. CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se estudió el uso, manejo y disposición final de las aguas servidas tratadas producidas en la etapa de construcción de proyectos solares ubicados en el norte y centro de Chile. La idea fue contrastar los compromisos adquiridos por los proyectos señalados en sus EIA/DIA (PAS 138) con los informes de fiscalización realizados por la SMA y revisar el cumplimiento de aquellos. Para ello primero se realizó una base de datos con información recopilada de cada parque solar, determinando la ubicación geográfica de cada planta, su producción energética, el periodo de construcción, número de trabajadores operando en la fase de construcción, la generación de aguas servidas diarias y mensuales durante esta fase, sistemas de tratamiento utilizados para las aguas servidas, el número de fiscalizaciones efectuadas por la SMA y compromisos adquiridos por parte de los proyectos en función de la disposición y uso de las aguas tratadas. Luego se revisó la normativa vigente del país en relación al saneamiento hídrico y el funcionamiento de las plantas de tratamiento de aguas servidas, con el fin de analizar el contexto regulatorio sobre éstas. Se demostró que en Chile existen normas primarias y secundarias de calidad de aguas y de descargas de cuerpos de agua para el control de contaminación, como también normas de emisión enfocadas en descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales, y a aguas subterráneas. Relativo a la recolección, reutilización y disposición de aguas servidas, existe la Ley N° 21.075, publicada recién en 2018, quien regulariza este tipo de aguas en zonas urbanas y rurales, pero aún no existe normativa que exija sobre la disposición y uso de aguas tratadas en zonas donde pueden ser útiles. Es por lo cual el nivel de cumplimiento de los proyectos, en relación a la normativa de la reutilización de aguas servidas puede expresarse en tres tópicos:

en primer lugar, es cuantitativo, por el hecho de que se establece obligatoriedad en el cumplimiento de parámetros de las aguas servidas; en segundo lugar, en la actualidad también es esperable el nivel de cumplimiento, debido a que no existen medidas que aseguren el correcto funcionamiento de las PTAS, ni recomendaciones de aplicaciones del agua servida tratada hacia sectores que la requieren; y finalmente también es teórico, dado el nulo conocimiento sobre el nivel de cumplimiento que tienen los parques solares sobre el proceso de tratado de las aguas servidas generadas.

Desde el último punto señalado surgen las principales conclusiones del presente estudio, ya que, en zonas del país con alto déficit hídrico, el uso, manejo y disposición de aguas servidas tratadas en el área de producción energética fotovoltaica es un ámbito con nula fiscalización y poco resguardo de la institucionalidad ambiental en Chile. La nula fiscalización por parte de la SMA fue la gran limitante de este estudio, debido a que el desconocimiento del uso, manejo y disposición de las aguas servidas tratadas genera incertidumbre sobre qué se realiza con el recurso hídrico en zonas del país donde este producto escasea y si se cumple o no con los parámetros estipulados en la normativa vigente chilena. Una normativa hídrica para Chile debe dar lineamientos que inciten la inversión pública y privada para el desarrollo ponderado y sustentable de nuevas fuentes de aguas, tales como el reúso de aguas servidas tratadas, la desalinización, recolección de aguas lluvias e infiltración artificial de acuíferos. Para ello se requiere plantear aspectos regulatorios que posibiliten diseñar normas que generen un sano equilibrio entre el cuidado ambiental, la prioridad del agua para las personas y los incentivos para la inversión privada de última tecnología, como también la adopción de medidas de gestión pública que vayan en la dirección correcta. En el escrito se realizó una revisión bibliográfica de artículos científicos

enfocados en distintas áreas de las PTAS, muchos de los cuales entregaban planteamientos y orientación factible para el país sobre lo técnico del funcionamiento de estas plantas como también en gestión y políticas públicas para modernizar y desarrollar mejoras en la administración del recurso hídrico tratado.

El derecho humano al agua y al saneamiento son elementos esenciales para la existencia del ser humano, por lo cual se recomienda que se impulsen planes con metas, plazos y recursos presupuestarios que permitan alcanzar el 100% de cobertura en agua potable y saneamiento en todas las zonas del país. La seguridad del agua para el consumo humano requiere además una modernización de la regulación para las empresas de todos los sectores, tales como energético, minero y agricultura; acorde al nuevo escenario hídrico que enfrentamos en el país. La experiencia internacional indica que los sistemas de reúso generan un impacto de gran magnitud en las economías locales. En Chile, para que esta nueva fuente de agua sea aprovechada, se requiere incorporar una hoja de ruta que permita trabajar con todas las instituciones involucradas, las que puedan entregar recursos técnicos y económicos para implementar plantas de reúso, sumado a potenciar los entes fiscalizadores del país para asegurar el buen funcionamiento de los procesos industriales, y además fomentar una cultura nueva de los sectores para considerar esta fuente de agua segura y aprovechable. Esta hoja de ruta se sugiere que se inicie con localidades más afectadas por la instalación de industrias energéticas y que se encuentren en alerta por la disponibilidad del recurso agua. Se propone empezar en comunas como Pozo Almonte, María Elena o Vallenar, en donde las autoridades municipales y regionales, como también las comunidades locales del territorio participen en la realización de estudios sobre el manejo y disposición de sus aguas, sobre qué normativas hay que

fortalecer o crear, y qué se requiere para estandarizar y normalizar el reúso de aguas servidas como una fuente alternativa del recurso hídrico benéfica para la sociedad.

Tomando las consideraciones de inocuidad, la reutilización de aguas servidas es una materia que debe seguir investigándose, ya que aún existen riesgos de exposición a patógenos, metales pesados y microplásticos, además de involucrar la emisión de GEI durante su funcionamiento. El reúso de aguas servidas, tanto a niveles industriales como a niveles locales (pequeñas y medianas empresas), puede instaurarse como una real alternativa de nueva fuente de agua para el país, contribuyendo a ser una solución al problema del déficit hídrico nacional, siempre y cuando estas actividades sean fiscalizadas o informadas de tal forma que los estamentos interesados puedan conocer y verificar el cumplimiento de los compromisos y la legislación vigente.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, M.A., Aburto, J.A., Bravo, L., Broitman, B.R., García, R.A., Gaymer, C.F., Gaymer, C.F., Gelcich, S., López, B.A., Montecino, V., Pauchard, A., Ramos, M., Rutllant, J.A., Sáez, C.A., Valdivia, N., Thiel, M. (2019). Chile: environmental status and future perspectives. *World Seas: An Environmental Evaluation*. Academic Press, pp. 673–702
- Balghouthi, M., Trabelsi, S.E., Mahmoud Ben Amara, Abdessalem Bel Hadj Ali, Guizani A. (2016). Potential of concentrating solar power (CSP) technology in Tunisia and the possibility of interconnection with Europe. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 56, 1227–1248.
- Balkema, A., Preisig, H., Otterpohl, R., Lambert, A.J.D. (2002). Indicators for the sustainability assessment of wastewater treatment Systems. *Urban Water*. 4. 153-161. 10.1016/S1462-0758(02)00014-6.
- Bekkari, N. & Zeddouri, A. (2019). Using artificial neural network for predicting and controlling the effluent chemical oxygen demand in wastewater treatment plant. *Management of Environmental Quality*, Vol. 30 No. 3, pp. 593-608. <https://doi.org/10.1108/MEQ-04-2018-0084>
- Blaschke, T., Biberacher, M., Gadocha, S., Schardinger, I. (2013). Energy landscapes: meeting energy demands and human aspirations. *Biomass- Bioenergy* 2013; 55:3–16.
- British Petroleum (2020). BP Statistical Review of World Energy 2020, British Petroleum. [<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>]
- Cardoso, B. J., Rodrigues, E., Gaspar, A. R., & Gomes, Á. (2021). Energy performance factors in wastewater treatment plants: A review. *Journal of Cleaner Production*, 322, 129107.

- Chaichaloempreecha, A., Chunark, P., Limmeechokchai, B. (2019). Assessment of Thailand's Energy Policy on CO2 Emissions: Implication of National Energy Plans to Achieve NDC Target. *Int Energy J* 2019; 19:47–60. Comité de Ministros de Sostenibilidad y Cambio Climático (2015). Contribución prevista y determinada a nivel nacional de Chile al Acuerdo Climático de París 2015, Gobierno de Chile.
- Dell'Angelo, J., Rulli, M.C., D'Odorico, P. (2018). The Global Water Grabbing Syndrome, *Ecological Economics*, Volume 143, Pages 276-285, ISSN 0921-8009, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.033>.
- Dirección General de Aguas (2016). Atlas del Agua. Ministerio de Obras Públicas. <https://snia.mop.gob.cl/sad/Atlas2016parte1.pdf>.
- Dirección General de Aguas (2018). Aplicación de la metodología de actualización del balance hídrico nacional en las cuencas de la macrozona norte y centro. Ministerio de Obras Públicas. <https://snia.mop.gob.cl/sad/REH5850v3.pdf>.
- Dirección General de Aguas (2020). Actualización Balance Hídrico Nacional. Disponible en: <https://www.uchile.cl/noticias/172249/balance-hidrico-nacional-advierde-fuerte-disminucion-de-agua-a-futuro>
- Dutta, D., Arya, S., Kumar, S. (2021). Industrial wastewater treatment: current trends, bottlenecks, and best practices. *Chemosphere*, 285, Article 131245, [10.1016/j.chemosphere.2021.131245](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131245)
- Espinoza, A. T.; Narváez, P. C.; Camargo, M. and Alfaro, M. D. (2019). Multiobjective optimization for the design of phase III biorefinery sustainable supply chain. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2019.02.268
- Fraunhofer ISE (2019). Photovoltaics Report. Fraunhofer ISE, Freiburg, Germany. Available from: <https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/photovoltaics-report.html>
- Fundación Chile (FCH) (2016). Aguas residuales como nueva fuente de agua. Diagnóstico del potencial reúso de aguas residuales en la Región de Valparaíso. Santiago-Valparaíso, Chile. ISBN: 978-956-8200-32-9

- Fundación Chile (FCH) (2018). Claves para la gestión de aguas residuales rurales. Santiago, Chile.
- Garreaud, R.D., Boisier, J.P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H.H., Veloso-Aguila, D. (2020). The Central Chile mega drought (2010–2018): a climate dynamics perspective. *Int. J. Climatol.* 40 (1), 421–439
- Gherghel, A., Teodosiu, C., Notarnicola, M., & De Gisi, S. (2020). Sustainable design of large wastewater treatment plants considering multi-criteria decision analysis and stakeholders' involvement. *Journal of environmental management*, 261, 110158.
- Gikas, P. (2017). Towards energy positive wastewater treatment plants. *J. Environ. Manag.*, 203, pp. 621-629.
- Gómez Vásquez V. (2019). Proyecciones de generación eléctrica en Chile: evaluación del potencial de calentamiento global y valor social. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170223>
- González, A. (2020). Análisis de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales industriales. Potencial del sector para Canarias. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica. Universidad de La Laguna. Tenerife. España.
- Herrando, M. & Markides, C.N. (2016). Hybrid PV and solar-thermal systems for domestic heat and power provision in the UK: techno-economic considerations. *Appl Energy* 2016; 161:512–32.
- Hidden-Nature, (2021). CENTA - Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua - Hidden Nature, www.hidden-nature.com
- Hristov, J., Barreiro-Hurle, J., Salpultra, G., Blanco, M. & Witzke, P. (2021). Reuse of treated water in European agriculture: Potential to address water scarcity under climate change. *Agricultural Water Management*. Volume 251; doi:10.1016/j.agwat.2021.106872

- Huang, R., Shen, Z., Wang, H., Xu, J., Ai, Z., Zheng, H., & Liu, R. (2021). Evaluating the energy efficiency of wastewater treatment plants in the Yangtze River Delta: Perspectives on regional discrepancies. *Applied Energy*, 297, 117087.
- Huang, Z., Yuan, X., Liu, X. (2021). The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability, *Journal of Hydrology*, Volume 601, 126658, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126658>.
- Jiang, H., Hua, M., Zhang, J., Cheng, P., Ye, Z., Huang, M., Jin, Q. (2020). Sustainability efficiency assessment of wastewater treatment plants in China: a data envelopment analysis based on cluster benchmarking *J. Clean. Prod.*, 244, Article 118729, 10.1016/j.jclepro.2019.118729
- Jorquera-Bravo, N., Espinoza Pérez, A. T., & Vásquez, Ó. C. (2020). Toward a sustainable system of wastewater treatment plants in Chile: a multi-objective optimization approach. *Annals of Operations Research*. doi:10.1007/s10479-020-03777-4
- Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.-H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 894–900. doi:10.1016/j.rser.2017.09.094
- Kehrein, P., Van Loosdrecht, M., Osseweijer, P., Garfí, M., Dewulf, J., & Posada, J. (2020). A critical review of resource recovery from municipal wastewater treatment plants—market supply potentials, technologies and bottlenecks. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(4), 877-910.
- Kumar, A., Thanki, A., Padhiyar, H., Singh, N. K., Pandey, S., Yadav, M., & Yu, Z. G. (2021). Greenhouse gases emission control in WWTS via potential operational strategies: A critical review. *Chemosphere*, 273, 129694.
- Lorenzo-Toja, Y., Vázquez-Rowe, I., Chenel, S., Marín-Navarro, D., Moreira, M.T., Feijoo, G. (2015). Eco-efficiency analysis of Spanish WWTPs using the LCA+DEA method *Water Res.*, 68, pp. 651-666, 10.1016/j.watres.2014.10.040

- McCarty, P.L., Bae, J. & Kim, J. (2011). Domestic Wastewater Treatment as a Net Energy Producer—Can This be Achieved? *Environmental Science & Technology*. 45:7100-6.
- Meneses, M., Concepcion, H., Vilanova, R. (2016). Joint Environmental and Economical Analysis of Wastewater Treatment Plants Control Strategies: A Benchmark Scenario Analysis. *Sustainability*, 8, 360.
- Morales, A.L. (2020). Historia, aplicación y análisis de la Ley núm. 20.551 que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras en Chile”, Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/94), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Morera, S., Corominas, L., Rigola, M., Poch, M. & Comas, J. (2017). Using a detailed inventory of a large wastewater treatment plant to estimate the relative importance of construction to the overall environmental impacts. *Water Res.*, 122, pp. 614-623, 10.1016/j.watres.2017.05.069
- Moussavi, S., Thompson, M., Shaobin, L. & Dvorak, B. (2021). Assessment of small mechanical wastewater treatment plants: relative life cycle environmental impacts of construction and operations. *J. Environ. Manag.*, 292, Article 112802, 10.1016/j.jenvman.2021.112802
- Nguyen, T. K. L., Ngo, H. H., Guo, W., Nguyen, T. L. H., Chang, S. W., Nguyen, D. D., ... & Deng, L. (2021). Environmental impacts and greenhouse gas emissions assessment for energy recovery and material recycle of the wastewater treatment plant. *Science of The Total Environment*, 784, 147135.
- Pahunang, R. R., Buonerba, A., Senatore, V., Oliva, G., Ouda, M., Zarra, T., ... & Naddeo, V. (2021). Advances in technological control of greenhouse gas emissions from wastewater in the context of circular economy. *Science of The Total Environment*, 792, 148479.

- Pham, A., Moussavi, S., Thompson, M., Dvorak, B. (2021). Environmental life cycle impacts of small wastewater treatment plants: design recommendations for impact mitigation. *Water Res.*, 207, p. 117758, 10.1016/j.watres.2021.117758
- Priyadharshini, S. D., Babu, P. S., Manikandan, S., Subbaiya, R., Govarathanan, M., & Karmegam, N. (2021). Phycoremediation of wastewater for pollutant removal: A green approach to environmental protection and long-term remediation. *Environmental Pollution*, 290, 117989.
- Puyol, D., Batstone, D.J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M., Krömer, J.O. (2017). Resource recovery from wastewater by biological technologies: opportunities, challenges and prospects. *Front. Microbiol.*, 7, p. 2106.
- Renewable Energy Policy Network (REPN) (2015). Renewable Energy's Record Year Helps Uncouple Growth of Global Economy and CO2 Emissions. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/06/REN21_press-release-GSR-2015_ENGLISH.pdf
- Revista Electricidad (2020). Proyectos fotovoltaicos: A fines de 2021 habrá más de 5.700 MW instalados. Disponible en: <https://www.revistaei.cl/informes-tecnicos/proyectos-fotovoltaicos-a-fines-de-2021-habra-mas-de-5-700-mw-instalados/> [Último acceso: octubre 2021].
- Revollar, S., Vilanova, R., Vega, P., Francisco, M. & Meneses, M. (2020). Wastewater Treatment Plant Operation: Simple Control Schemes with a Holistic Perspective. *Sustainability* 12, no. 3: 768. <https://doi.org/10.3390/su12030768>
- Rout, P. R., Shahid, M. K., Dash, R. R., Bhunia, P., Liu, D., Varjani, S., ... & Surampalli, R. Y. (2021). Nutrient removal from domestic wastewater: A comprehensive review on conventional and advanced technologies. *Journal of Environmental Management*, 296, 113246.
- Sa'ad, S. F., Shiun, L., Manan, Z., Alwi, S. W. (2021). Chapter 14 - Industrial wastewater recovery for integrated water reuse management, Editor(s): Abdul Wahab Mohammad, Wei Lun Ang, *Integrated and Hybrid Process Technology for Water and Wastewater*

Treatment, Elsevier, Pages 293-311, ISBN 9780128230312, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823031-2.00015-X>.

Saini, S., Gill, J.K., Kaur, J., Saikia, H.R, Singh, N., Kaur, I. & Katnoria, J.K. (2020). Biosorption as environmentally friendly technique for heavy metal removal from wastewater. *Fresh Water Pollution Dynamics and Remediation*, Springer, Singapore, pp. 167-181

Scheihing, K. & Tröger, U. (2018). Local climate change induced by groundwater overexploitation in a high Andean arid watershed, Laguna Lagunillas basin, northern Chile. *Hydrogeol. J.* 26 (3), 705–719

Seddegh, S., Wang, X., Henderson, A.D., Xing, Z. (2015). Solar domestic hot water systems using latent heat energy storage medium: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 49:517–33.

Shah, M., Sarkar, A. and Mandal, S. (2021). *Wastewater treatment: Cutting Edge Molecular Tools, Techniques and Applied Aspects*. Amsterdam: Elsevier.

Simsek, Y., Lorca, Á., Urmee, T., Bahri, P.A., Escobar, R. (2019). Review and assessment of energy policy developments in Chile. *Energy Policy* 2018; 127:87–101. doi:10.1016/j.enpol.2018.11.058

Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental (SNIFA) (2021). Portal web. Preguntas Frecuentes. Disponible en: <https://snifa.sma.gob.cl/Home/PreguntasFrecuentes>

SOLARGIS (2018). Download Solar Resource Maps and GIS Data 180+ Countries. [En línea]. Available: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world> [Último acceso: octubre 2021].

Solari San Martín, M. (2019). Factibilidad de generación eléctrica solar térmica y fotovoltaica en la Región de Atacama. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170743>

- Tang, J., Zhang, C., Shi, X., Sun, J., & Cunningham, J. A. (2019). Municipal wastewater treatment plants coupled with electrochemical, biological and bio-electrochemical technologies: Opportunities and challenge toward energy self-sufficiency. *Journal of environmental management*, 234, 396-403.
- UNESCO (2017). Wastewater: The Untapped Resource: The United Nations World Water Development Report Vol 2017 OECD, Paris
- Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., García-Chevesich, P., Valdés, J.B., Olivares, C., Vera, M., Balocchi, F., Vallejos, C., Fuentes, R., Abarza, A., Helwig, B. (2014). Water governance in Chile: availability, management and climate change. *J. Hydrol.* 519, 2538–2567
- Yadav, G., Mishra, A., Ghosh, P., Sindhu, R., Vinayak, V., & Pugazhendhi, A. (2021). Technical, economic and environmental feasibility of resource recovery technologies from wastewater. *Science of The Total Environment*, 796, 149022.
- Yang, J., & Chen, B. (2021). Energy efficiency evaluation of wastewater treatment plants (WWTPs) based on data envelopment analysis. *Applied Energy*, 289, 116680.
- Yifan, G., Yue, L., Xuyao, L., Pengzhou, L., Hongtao, W., Xin, W., Jiang, W., Fengting, L. (2017). Energy Self-sufficient Wastewater Treatment Plants: Feasibilities and Challenges, *Energy Procedia*, Volume 105, Pages 3741-3751, ISSN 1876-6102, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.868>.
- Zhongweim, H., Xing, Y., Xingcai, L. (2021). The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability, *Journal of Hydrology*, Volume 601, 126658, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126658>.

VII. ANEXO

Tabla A1. Ejemplo de formulario de registro de la entidad de muestreo de aguas servidas.

Nº Muestra	Identificación de la Muestra	Parámetros Solicitados	Material Envases	Preservante	Código Envases	Muestra Nº 1	Muestra Nº 2	Muestra Nº 3	Muestra Nº 4	Muestra Nº 5	Muestra Nº 6
		DS 609/DS 90/DS 46									
		pH – Temperatura	-	In situ							
		Coliformes fecales	P o V estéril	Tio/Edta							
		Aceites y Grasas	V	HCl							
		Cr +6	P o VB	S/P							
		Cianuro	P o V	NaOH							
		Cloruros	P o V	S/P							
		DBO ₅	P o V	S/P							
		DQO	P o V	H ₂ SO ₄							
		Fluoruro	P	S/P							
		Fósforo Total	P o V	H ₂ SO ₄							
		HCF	V	HCl							
		HCV	V	S/P							
		Índice Fenol	V	H ₂ SO ₄							
		Metales	P o V	HNO ₃							
		Hg	P o V	HNO ₃ exento Hg							
		Nitrito	P o V	S/P							
		Nitrato	P o V	H ₂ SO ₄							
		NKT	P o V	H ₂ SO ₄							
		Nitrógeno Amoniacal	P o V	H ₂ SO ₄							
		Poder Espumógeno	P o V	S/P							
		Sól. Suspendidos	P o V	S/P							
		Sól. Sedimentables	P o V	S/P							
		SAMM	P o V	S/P							
		Sulfatos	P o V	S/P							
		Sulfuros	P o V	NaOH/AcZn							
		TCM – TCE	V/TFE	HCl							
		BTX	V/TFE	HCl							
		Pentaclorofenol	V	S/P, Tio							
		Otros									

Fuente: NCh 411/10, 2005.

Tabla A2. Datos declarados por los proyectos fotovoltaicos.

Proyecto	Dotación de agua [L/persona/día]	Factor de Recuperación	Número de PTAS en operación	Número de trabajadores promedio	Días trabajados en el mes	Periodo de construcción [meses]
Proyecto Planta Termosolar Camarones	170	0,98	1	600	20	40
Parque Solar Fotovoltaico ALWA	150	0,8	3	190	30	14
Cielos de Tarapacá	150	0,8	2	300	30	54
Planta de Concentración Solar de Potencia Tamarugal Solar	100	0,9	3	1.280	30	36
Parque Fotovoltaico Granja Solar	100	0,8	0	175	24	14
Parque Solar Fotovoltaico Sol del Desierto	100	1	2	364	30	48
Parque Fotovoltaico Pampa Tigre	150	0,85	3	450	26	14
Planta de Concentración Solar de Potencia Likana Solar	150	0,9	3	2.400	30	36
Planta Solar CEME 1	150	0,8	1	675	22	27
Proyecto Fotovoltaico Elena	150	0,8	1	200	30	40
Parque Fotovoltaico Santa Isabel	150	0,8	4	500	30	36
Tamaya Solar	150	1	0	190	24	15
Parque Solar Andino	150	0,95	1	400	30	12
Planta Solar Fotovoltaica Piedra Colgada	100	1	1	200	24	10
Parque Solar Fotovoltaico Luz del Oro	150	1	1	732	30	36
Planta Solar Fotovoltaica Libertad I y II	150	0,8	4	150	24	38
Proyecto Solar Valle Escondido	150	0,8	3	500	20	20
Parque Solar Fotovoltaico Tamarico	150	0,8	0	240	30	9

Proyecto	Dotación de agua [L/persona/día]	Factor de Recuperación	Número de PTAS en operación	Número de trabajadores promedio	Días trabajados en el mes	Periodo de construcción [meses]
Parque Solar Fotovoltaico Nuevo Futuro	150	0,8	1	350	22	18
Parque Fotovoltaico Sol de Vallendar	150	1	1	505	30	21
Planta Solar Fotovoltaica Doña Antonia	150	1	1	120	20	11
Parque Solar Olmué	100	0,8	1	500	30	11
Proyecto Parque Solar Quilapilún	100	1	1	570	30	12
Parque Fotovoltaico Santiago Solar	150	0,8	1	130	30	12
Proyecto Fotovoltaico Santa Marta de Marchigüe	150	0,8	1	100	24	12

Fuente: Elaboración propia; SEA, 2021.

Tabla A3. Límites máximos de los requisitos químicos en agua para riego.

Elemento	Unidad	Límite máximo
Aluminio (Al)	mg/l	5,00
Arsénico (As)	mg/l	0,10
Bario (Ba)	mg/l	4,00
Berilio (Be)	mg/l	0,10
Boro (B)	mg/l	0,75
Cadmio (Cd)	mg/l	0,010
Cianuro (CN)	mg/l	0,20
Cloruro (Cl)	mg/l	200,00
Cobalto (Co)	mg/l	0,050
Cobre (Cu)	mg/l	0,20
Cromo (Cr)	mg/l	0,10
Fluoruro (F)	mg/l	1,00
Hierro (Fe)	mg/l	5,00
Litio (Li)	mg/l	2,50
Litio (cítricos)	mg/l	0,075
Manganeso (Mn)	mg/l	0,20
Mercurio (Hg)	mg/l	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,010
Níquel (Ni)	mg/l	0,20
Plata (Ag)	mg/l	0,20
Plomo (Pb)	mg/l	5,00
Selenio (Se)	mg/l	0,020
Sodio porcentual (Na)	%	35,00
Sulfato (So ₄ =)	mg/l	250,00
Vanadio (V)	mg/l	0,10
Zinc (Zn)	mg/l	2,00

Fuente: NCh 1.333 of. 78, 1987.



ORD N° 561 SMA 2022

- ANT.:**
- 1. Solicitud N° AW003T0006136
Superintendencia del Medio Ambiente.**
 - 2. Solicitud N° AW003T0006138
Superintendencia del Medio Ambiente.**
 - 3. Solicitud N° AW003T0006139
Superintendencia del Medio Ambiente.**

MAT.: Responde solicitud de Información.

Santiago, marzo 09 de 2022.

A: SR. MARCELO SILENZI JIMÉNEZ

**DE: MIRELLA MARIN
ENCARGADA OFICINA DE TRANSPARENCIA Y ATENCIÓN CIUDADANA
SUPERINTENDENCIA DEL MEDIO AMBIENTE**

Con fecha 09 de febrero de 2022, esta superintendencia recibió sus requerimientos de información pública y, conforme a lo dispuesto en la Ley N° 20.285 sobre Acceso a la Información Pública, fueron registrados con los folios N° AW003T0006136, AW003T0006138 y AW003T0006139. En ellos, se expresa lo siguiente:

Figura A1. Ejemplo de respuesta de la SMA vía correo electrónico por ley de Transparencia.