

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial

Análisis del uso de agua dulce en la producción de hidrógeno verde en Chile

Millaray Isidora Valle Reinoso
INGENIERÍA COMERCIAL
Diciembre 2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Comercial

Análisis del uso de agua dulce, en la producción de hidrógeno verde en Chile

Tesis presentada por

Millaray Isidora Valle Reinoso

Como requisito para optar al Título de

INGENIERO COMERCIAL

Director de Tesis: **Dr. Felipe Aracena Hrepic**
Diciembre 2024

TITULO DE TESIS:

“H2V: ¿El nuevo oro verde? o una ilusión en un Chile sediento.”

AUTOR:

Millaray Isidora Valle Reinoso

TRABAJO DE TESIS, presentando en cumplimiento parcial de los requisitos para el Título de Ingeniero Comercial de la Universidad Técnica Federico Santa María.

Observaciones:

Dr. Felipe Aracena Hrepic
Director de Tesis

Dr. Juan Felipe Espinosa
Correferente

Valparaíso, diciembre.

Todo el contenido, análisis, conclusiones y opiniones vertidas en este estudio son de mi exclusiva responsabilidad.

Nombre: Millaray Valle Reinoso.

Firma: _____

Fecha: 26-12-2024.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no habría sido posible sin el apoyo incondicional de diversas personas, en primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, quienes siempre me han brindado su amor, aliento y confianza, especialmente a mi madre Barbara Reinoso Amigo debido a su paciencia infinita y por inculcarme el valor del estudio, a mi padre Wilson Correa por su apoyo incondicional y sus sabios consejos, además de mi hermana, mis tíos y mis abuelos por su compañía y por celebrar cada uno de mis logros.

Por otra parte, agradecer a mi profesor guía Felipe Aracena por su invaluable orientación, dedicación y conocimientos, ya que, su rigurosa guía académica fue fundamental para la construcción de mi marco teórico y el diseño metodológico de esta investigación, debido a que sus observaciones y sugerencias fueron cruciales para la mejora de este trabajo. Asimismo, quiero agradecer a mis amigos por sus palabras de ánimo, por escucharme y compartir conmigo este camino, en donde, su amistad, compañerismo y apoyo han sido pilares fundamentales durante todo este proceso universitario.

Finalmente, quiero expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio se centra en analizar el consumo de agua dulce en la producción de hidrógeno verde (H2V), para determinar la factibilidad de implementación en Chile, un país que enfrenta un creciente estrés hídrico desde hace décadas, además de considerar los impactos socioeconómicos asociados. El alcance de la investigación aborda principalmente la localidad de Quintero, reconocida por su actividad industrial, en donde se empleó una triangulación de la metodología mixta que combina análisis cuantitativos y cualitativos, los datos numéricos se obtuvieron a partir de sitios webs gubernamentales y organismos internacionales, mientras que los datos cualitativos se recolectaron a través de entrevistas semi estructuradas a expertos en H2V y medio ambiente, así como también a la comunidad de Quintero.

Como resultado de la investigación se determina que, si se puede implementar este tipo de proyectos en sectores con estrés hídrico, ya que, las instalaciones a grandes escalas se enfocan en la utilización de agua desalinizada, a partir de ello se definen medidas para una mejor gestión de sus residuos u otras herramientas alternativas. Por otra parte, si bien la producción de H2V en Quintero será a partir de agua potable suministrada por ESVAL, las últimas precipitaciones han generado una acumulación del recurso hídrico, en donde, especialistas indican que se han reactivado las napas freáticas del país, además la cantidad utilizada en dicho proyecto será marginal, como indica el subgerente de GNL, debido a que este proyecto es a pequeña escala.

ABSTRACT

This study focuses on analyzing freshwater consumption in the production of green hydrogen (H₂V), to determine the feasibility of implementation in Chile, a country that has been facing increasing water stress for decades, in addition to considering the associated socioeconomic impacts. The scope of the research mainly addresses the town of Quintero, recognized for its industrial activity, where a triangulation of the mixed methodology was used that combines quantitative and qualitative analysis. The numerical data were obtained from government websites and international organizations, while the qualitative data were collected through semi-structured interviews with H₂V and environmental experts, as well as the Quintero community.

As a result of the research, it is determined that this type of project can be implemented in sectors with water stress, since large-scale facilities focus on the use of desalinated water, from which measures are defined for better management of their waste or other alternative tools. On the other hand, although H₂V production in Quintero will be from drinking water supplied by ESVAL, the latest rainfall has generated an accumulation of water resources, where, specialists indicate, the country's groundwater has been reactivated. In addition, the amount used in this project will be marginal, as indicated by the LNG deputy manager, because this project is small-scale.

ÍNDICE

páginas

1. INTRODUCCIÓN	12
2. ORIGEN Y PROPÓSITO DEL ESTUDIO.....	16
3. OBJETIVOS	19
OBJETIVO GENERAL	19
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
HIPÓTESIS.....	20
4. ALCANCE DEL ESTUDIO	21
5. ESTADO DEL ARTE.....	23
5.1 ANTECEDENTE DEL ESTADO DEL ARTE	23
5.2 DESCRIPCIÓN DEL SUJETO DE ESTUDIO	44
5.3 MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE	47
1.- Hidrógeno verde como nueva fuente de energía.....	47
2.- Impacto ambiental del hidrógeno verde.....	49
3.- Estrés hídrico en Chile.	50
4.- Zonas de Sacrificio.	52
5.- Método propuesto para mitigar los efectos de la utilización de agua, en la producción de H ₂ V.	55
6. PROPUESTA METODOLÓGICA.....	57
7. APLICACIÓN METODOLÓGICA	59
8. RESULTADOS	66
9. CONCLUSIONES.....	105
10. RECOMENDACIONES	109
11. BIBLIOGRAFÍA	111
12. WEBGRAFÍA.....	113
13. ANEXOS	116
14. ACRÓNIMOS	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla de entrevistados.....	62
-----------------------------	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Proyección de mercados chilenos de H2V y derivados	24
Tamaño de mercado estimado para exportaciones chilenas.....	25
Demanda global de energía suministrada por hidrógeno.....	26
Demanda estimada de agua por sector económico.....	28
Volumen de aguas tratadas por región.....	37
Demanda consuntiva de agua actual y proyección al 2030 y 2040.....	51
Comunas con decreto de escasez hídrica.....	66
Déficits de lluvias.....	67
Comunas en riesgo de desertificación.....	68
Déficits de lluvias.....	69
Déficits de lluvias.....	69
Principales problemas vinculados al recurso hídrico.....	70
Utilización de servicios de agua potable de manera segura.....	71
Pérdidas de agua.....	72
Consumo de agua por cliente.....	73

Ventas de Chile de hidrógeno verde (USD).....	78
Exportaciones de H2V de Chile.....	78
Cantidad de agua necesaria para producir hidrógeno (Kg).....	84
Reutilización de aguas residuales tratadas.....	86
Disponibilidad de agua dulce en Chile.....	87
Barreras para una eficiente gestión del recurso hídrico.....	88
Principales sectores beneficiados.....	92
Factores que afectan a la sociedad.....	94
Canales de comunicación preferidos en Quintero.....	98
Preocupaciones sociales.....	99
Consumo de agua por sector.....	105
Hipótesis.....	108

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES y FOTOGRAFÍAS

Cantidad de agua destilada necesaria para producir hidrógeno.....	28
Medibilidad de los criterios de sostenibilidad propuestos para la producción de hidrógeno verde.....	32
Cantidad de agua de mar necesaria para producir hidrógeno.....	40
Coeficiente de recuperación para osmosis inversa.....	41
Cantidad de aguas servidas tratadas para la producción de hidrógeno.....	42
Evolución del modelo teórico de la investigación.....	43
Potencial de descarbonización del hidrógeno verde.....	45
Esquema de aplicación metodológica.....	65
Administración del agua.....	90
Nube de palabras.....	104

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el planeta enfrenta una gran crisis ambiental, en donde, el cambio climático, la contaminación del aire y el agua, además de la escasez de recursos naturales son problemas globales que han llevado a diversos países a generar acuerdos para minimizar la contaminación como el Protocolo Kyoto, el Acuerdo de París, la convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, entre otros, en este contexto, la búsqueda de fuentes de energía limpia y sostenible se ha vuelto una prioridad global. Una de las soluciones más prometedoras que se están explorando a nivel mundial es el hidrógeno verde (H2V), este es un gas producido a partir de agua pura y electricidad renovable, como la eólica o la solar, que al quemarse solo emite vapor de agua, lo que lo convierte en una fuente de energía limpia y eficiente, además este presenta una gran versatilidad en el mercado, pudiendo aplicarse a procesos de diversos sectores productivos, es decir, posee un alto potencial para descarbonizar múltiples industrias.

Chile, cuenta con diferentes climas que promueven el desarrollo de energías renovables, lo cual le permite al país generar una ventaja competitiva y avanzar hacia la descarbonización nacional, potenciando el desarrollo del mercado y la competitividad local, sin embargo, esta prometedora tecnología se cruza con una realidad preocupante, la cual es el estrés hídrico que afecta a gran parte del territorio nacional, un factor crucial a la hora de incrementar las actividades productivas del sector. Es por ello que el sujeto de estudio es la localidad de Quintero, una zona de sacrificio en donde se planifica un proyecto de hidrógeno verde

El presente estudio tiene como objetivo general analizar el uso de agua dulce en la producción de H2V, para determinar la factibilidad de implementación de este proyecto en Chile, para analizar esta industria emergente se elaboraron 4 objetivos específicos, dentro de estos encontramos identificar el nivel de estrés hídrico en el país, examinar los principales sectores que podrían beneficiarse con la adopción del H2V en Chile, evaluar el impacto socioeconómico, y definir las mejores prácticas y tecnologías, para minimizar el consumo de agua dulce en la producción de hidrógeno verde.

Para abordar dichos aspectos, se llevó a cabo una triangulación del método mixto, en donde se contrastaron y/o complementaron datos obtenidos a partir de la revisión de la bibliografía sobre H2V, estrés hídrico y desarrollo sostenible; los análisis cuantitativos se realizaron a partir de fuentes gubernamentales y académicas como el Banco Mundial, El Ministerio de Energía, Naciones Unidas en Chile, entre otros; y el análisis cualitativo, se realizó en base a entrevistas semiestructuradas a diferentes especialistas, tanto en el área del hidrógeno verde, como Carlos Alvear, investigador del centro de energía de la Universidad de Chile, como también profesionales en el área ambiental como Cesar Pastén de Modatima, asimismo se entrevistó a personas de la localidad de Quintero, para obtener su visión como residentes del sector, abordando así posibles desafíos y beneficios sociales.

Dentro de los principales resultados cuantitativos, se identifica que, a pesar de que este año se registró un aumento en las precipitaciones, Chile continua con déficits hídricos, especialmente en ciertas regiones como Valparaíso, por otra parte, en

cuanto al segundo objetivo específico se identifica una mayor orientación hacia las exportaciones, principalmente al sector europeo, Japón y Corea, así mismo se realiza una proyección al año 2050, en donde se observa un crecimiento exponencial tanto de las ventas en dólares, como en la cantidad de exportaciones en toneladas, por otra parte, en cuanto al uso de agua en la producción de H2V, se analiza una menor cantidad requerida de este si se utilizan aguas residuales tratadas en el proceso.

Con respecto al análisis cualitativo, el 66,7% de los especialistas entrevistados consideran que efectivamente existe una escasa disponibilidad del recurso hídrico en el país, además si bien reconocen un incremento en las exportaciones, enfatizan el beneficio de su incorporación principalmente en el área de la industria con un 41% y en el transporte con un 35% de afirmación. La implementación de este tipo de proyectos genera algunos impactos positivos, en donde, especialistas indican la creación de empleo como principal beneficio, junto con el desarrollo de capital humano, la descarbonización, polos de desarrollo económicos, sin embargo, también se abordan posibles desafíos relacionados con el uso de espacio, la sobrecarga industrial, la desinformación y riesgo de explosión, a partir de ello se definen medidas de compensación o mitigación como la reducción del pago en la luz, electricidad o gas, aportar a la calidad de vida de las personas a través de fomentar una mayor vegetación, oportunidades de desarrollo agropecuario y asegurar la disponibilidad de agua en estas zonas, en donde ya es un recurso crítico o asegurar puestos de trabajo para las personas de la localidad.

Cuando se genera este tipo de proyectos, es necesario involucrar a la sociedad de diversas formas, las entrevistas a la comunidad de Quintero, revelan que el 100% de ellos se siente desinformado y el 33% preferirían iniciativas de participación o comunicación a través de las juntas de vecinos, el 26% con la Municipalidad, además de documentos informativos, redes sociales, entre otros, de esta manera los residentes se sienten parte del proceso, se informan adecuadamente y tienen una mayor disposición a la colaboración, disminuyendo su nivel de resistencia al cambio y por ende generando una mayor aceptación y adaptación, además el 28% de los entrevistados le preocupa la desinformación del proyecto y a otro 28% una mayor contaminación.

Por otra parte, se identificaron diversas opciones para reducir el consumo de agua dulce en la producción de H₂V, en donde especialistas indican una mayor orientación hacia la desalación en proyectos de gran envergadura, sin embargo, también se definen otras herramientas más sostenibles como la reutilización de aguas residuales tratadas o la captura de agua de lluvia.

La producción de H₂V en Chile es una oportunidad para avanzar hacia una economía más sostenible y diversificada, en donde, a pesar de que se presenta un alto nivel de estrés hídrico en el país, es factible su implementación, ya que, la producción se puede orientar hacia el uso de agua de mar o la reutilización de aguas residuales tratadas, fomentando así una economía circular, sin embargo, es fundamental abordar los desafíos relacionados como la regulación, infraestructura adecuada, sostenibilidad y los impactos socioambientales, se recomienda promover la investigación y desarrollo, implementar políticas públicas tanto para

fomentar su uso en diferentes industrias como para regular las diferentes fases del proceso, mejorar la gestión del recurso hídrico a nivel nacional y local, asegurando una distribución equitativa y sostenible e involucrar a las comunidades para una mayor participación y grado de aceptación social.

2. ORIGEN Y PROPÓSITO DEL ESTUDIO

Actualmente la creciente demanda por soluciones de descarbonización en diversos sectores, como la industria, el transporte y la generación de energía, crea un mercado en expansión para el hidrógeno verde, si bien, ya existe una estrategia nacional para su incorporación, esta investigación abordará el riesgo existente, es decir, el alto consumo en un espacio de escasez para su producción, lo cual es un aspecto que si no se gestiona eficientemente, podría llegar a impedir que este proyecto tenga un desarrollo y futuro próspero. Por otra parte, personalmente me interesa encontrar soluciones innovadoras para problemas globales, las cuales tendrán un impacto positivo en la comunidad, además de explorar nuevos mercados, tendencias empresariales y evolución tecnológica, junto con la búsqueda de innovación y desarrollo, lo cual considero que es muy importante para un mayor crecimiento a nivel nacional, además creo que profundizar en estos aspectos mejorarán tanto mis habilidades como mi perspectiva profesional.

El estudio se considera un objetivo posible de lograr, debido a que actualmente existen diversos factores que permiten generar oportunidades de mejora, como la disponibilidad de energías renovables, diversos avances en tecnología como la electrólisis y nuevas membranas para mejorar dichos procesos, estos se pueden

combinar con desalinizadoras o la biodegradabilidad de las aguas residuales, junto con otras tecnologías para incluso generar una economía circular en el futuro. Este tema se vincula con Ingeniería Comercial, ya que, es importante trabajar en el desarrollo de soluciones anticipadas a posibles riesgos para potenciar mercados emergentes, apoyando la sostenibilidad empresarial, por otra parte, considero que dicha carrera proporciona las herramientas necesarias para gestionar y liderar el cambio, evaluar el potencial y crear valor en nuevos y actuales mercados, además de lograr identificar y analizar posibles amenazas y oportunidades en los entornos dinámicos gestionando riesgos al desarrollar planes estratégicos.

Al profundizar en dicho tema se puede abordar la gestión de recursos y sostenibilidad empresarial, en la actual transición energética que se proyecta en el país. Se refuerza la estrategia creando oportunidades de mejora en el desarrollo de una nueva fuente de energía en actual expansión, es importante considerar que este estudio permite no solo aportar al desarrollo sostenible de nuestro país, sino que otorgará herramientas para un próspero desempeño de la estrategia nacional, la cual se enfoca en posicionarse como exportador de diversos sectores e incrementar el I+D del país, además de crear redes de colaboradores.

En cuanto al análisis de criterios SMART, se puede identificar un tema específico, ya que, la investigación se orienta a la transición energética del país hacia el hidrógeno verde, específicamente en el riesgo colateral que conlleva su producción, el cual podría llegar a comprometer su eficiente desarrollo, es decir, el exceso del uso de agua dulce en las plantas de electrólisis, en la producción de hidrógeno verde. Además, al enfocarse en el uso de agua dulce en la producción

de hidrógeno verde, el proceso podría medirse a través de indicadores como el consumo de agua fresca, por kilogramo de hidrógeno producido comparado con un punto de referencia inicial, por otra parte, también se pueden analizar las percepciones de los actores involucrados, por lo cual, la investigación se enfoca en un método mixto, con perspectiva cualitativo – cuantitativo.

El tema es alcanzable, ya que, actualmente se han desarrollado nuevas tecnologías y debido a que es un tema importante abordado a nivel global, existen diversos proyectos, perspectivas sobre el tema, interés por energías renovables y colaboración de diversos actores, según la estrategia nacional del Hidrógeno verde en Chile, el cual tiene 2 diferentes etapas hasta el año 2030, actualmente nos encontramos en la etapa 1 de “Activar la industria doméstica y desarrollar la exportación”. Por otra parte, el objetivo es relevante, ya que, aborda un desafío global y local de manera directa, contribuyendo a un objetivo mayor, es decir, a la transición energética del país hacia una economía baja en carbono y el desarrollo sostenible, impactando positivamente en el medio ambiente al generar una fuente de energía limpia que no deja residuos en el aire.

Finalmente, el contenido se acota netamente al uso del agua en la producción del hidrógeno verde, una nueva fuente de energía en la región de Valparaíso, específicamente en la localidad de Quintero. La investigación se realiza con el objetivo de responder la interrogante: ¿Será un problema producir hidrógeno verde en un país con estrés hídrico?, esto se encuentra directamente relacionado al actual plan nacional proyectado hasta el año 2030.

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

En la presente investigación se abordará un desafío global y local de manera directa, contribuyendo a la orientación de Chile hacia el hidrógeno verde, una transición energética del país enfocada en una economía baja en carbono y el desarrollo sostenible. El estudio examinará el uso de agua dulce en la producción de H₂V, para determinar la factibilidad de implementación de este proyecto en zonas de Chile con estrés hídrico, centrado específicamente en la región de Valparaíso, localidad de Quintero, uno de los sectores seleccionados para proyectos de hidrogeno verde, con el fin de abastecer la demanda interna.

Este tema se vincula con Ingeniería Comercial, ya que, es importante trabajar en el desarrollo de soluciones anticipadas a posibles riesgos, para potenciar mercados emergentes, apoyando la sostenibilidad empresarial y la gestión de recursos, de esta manera se refuerza la estrategia nacional, creando oportunidades de mejora para liderar el cambio, en el desarrollo de una nueva fuente de energía en actual expansión. Es por ello, que el objetivo general se define como “Analizar el uso de agua dulce en la producción de hidrógeno verde, para determinar la factibilidad de la implementación del H₂V en Chile, un país con estrés hídrico”.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el nivel de estrés hídrico en el país, para reconocer su impacto y evaluar la actual disponibilidad de agua.
- Examinar los principales sectores que podrían beneficiarse significativamente de la adopción del hidrógeno verde en Chile, para determinar su respectivo potencial.
- Evaluar el impacto socioeconómico de la producción de hidrógeno verde, para comprender los beneficios económicos y desafíos sociales.
- Definir las mejores prácticas y tecnologías, para minimizar el consumo de agua dulce en la producción de hidrógeno verde.

HIPÓTESIS

"La factibilidad de la transición energética en Chile, mediada por el desarrollo del hidrógeno verde, depende de los desafíos asociados a la disponibilidad de agua, la infraestructura necesaria y las políticas públicas implementadas"

Estos desafíos asociados, incluidos en la hipótesis, son factores claves para el desarrollo eficiente de los futuros proyectos de hidrógeno verde (H2V), ya que, la producción de esta nueva fuente de energía requiere grandes cantidades de agua, lo cual representa un desafío significativo para Chile, debido a su estrés hídrico. Por otra parte, para la producción, transporte y almacenamiento de H2V, es necesaria una infraestructura adecuada, la cual requiere de grandes inversiones y planificación a largo plazo, además, las políticas públicas juegan un papel crucial en la creación de un entorno favorable para la inversión y el desarrollo de la industria del hidrógeno verde.

Esta hipótesis se expresa en una escala ordinal, en donde a mayor valoración de los desafíos, menor será la factibilidad. Para confirmar o refutar, es necesario examinar los factores involucrados, para ello se debe identificar si son considerados dentro de los desafíos asociados, si se llegan a cumplir como mínimo 2 de 3 factores, entonces se confirma la afirmación, en caso contrario es rechazada.

Dentro de esta hipótesis se puede encontrar la variable independiente, la cual consta de los desafíos asociados a la transición energética, debido a que, la existencia y magnitud de estos influyen directamente en la factibilidad de la transición, la cual es la variable dependiente.

3. ALCANCE DEL ESTUDIO

El estudio abordará la actual transición energética de Chile, en un contexto donde existe una creciente demanda por soluciones de descarbonización, en diferentes sectores, como en transporte, industrias como la química, petroquímica, agrícola, minera, entre otras, y la generación de energía, creando un mercado en expansión para el hidrógeno verde, es decir, una oportunidad importante e innovadora para el crecimiento y desarrollo del país. La investigación se acota, netamente, al uso del agua dulce en la producción de hidrógeno verde, un estudio que tendrá un alcance geográfico-territorial en la región de Valparaíso, debido a que en dicha localidad se encuentra uno de los proyectos planificados para la transición energética, es decir, una planta de electrólisis en la ciudad de Quintero para abastecer la demanda interna de dicha fuente de energía, potenciando la

competitividad y desarrollo de la región, por otra parte, no se abarcaron los otros sectores incluidos en el plan estratégico nacional, netamente al ser zonas muy alejadas, y por no contar con el tiempo adecuado para una investigación profunda, con todos los actores de interés. Es importante considerar, que, al ser un proyecto nuevo en actual desarrollo, no es posible contemplar un rango de tiempo determinado.

La investigación será de carácter exploratoria-descriptiva, debido a que se centrará en un tema innovador que no ha sido abordado y definido previamente, ya que, se encuentra en actual desarrollo en Chile, y pesar de que existen diversos estudios a nivel global, a la fecha no hay alguno que entrelace el hidrógeno verde con las zonas de estrés hídrico, en donde se pretenden realizar diversos proyectos, por lo cual, el segundo y tercer objetivo específico se tratará de manera exploratoria, debido a que son aspectos desconocidos, mientras que por otra parte, se utilizarán aspectos descriptivos con la finalidad de detallar el fenómeno de estrés hídrico a nivel nacional, e identificar mejores prácticas para minimizar el uso de agua dulce y potenciar su eficiente desarrollo sostenible.

Finalmente, con esta investigación se espera dar respuesta a la interrogante: ¿Será posible producir hidrógeno verde en un país con estrés hídrico?, lo cual se encuentra directamente relacionado al actual plan nacional, proyectado hasta el año 2030 aproximadamente.

5. ESTADO DEL ARTE.

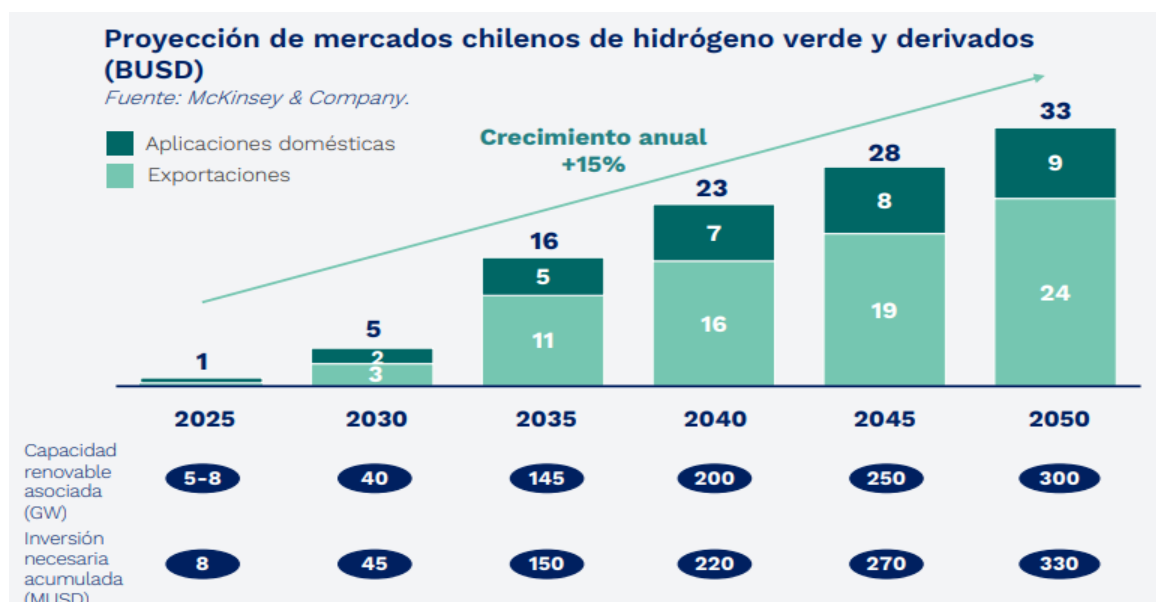
5.1 ANTECEDENTE DEL ESTADO DEL ARTE

La producción de hidrógeno verde, como nueva fuente de energía es un tema relevante a nivel mundial, ya que, genera nuevas oportunidades de negocio, a la vez que se avanza hacia la descarbonización global, debido a esto existen algunos estudios que abordan este tema desde diversas perspectivas. Dentro de esto, es importante comenzar con el plan nacional de hidrógeno verde, por parte del Ministerio de energía del Gobierno de Chile, como artículo introductorio, el cual orienta la investigación, otorgando un contexto sobre la implementación de esta nueva fuente de energía en Chile, definiendo sus ventajas, los pilares, proyecciones y el plan de acción de la estrategia nacional. El país está planificando una serie de proyectos en diferentes lugares estratégicos, con el fin de llegar a generar altos niveles de producción de esta nueva fuente de energía, tanto para la exportación, como para abastecer las demandas locales:

“Al año 2050 las matrices energéticas y economías del mundo lucirán más verdes. La disminución proyectada de los costos de energía renovable y electrólisis, junto con la necesidad de descarbonizar todos los sectores de las economías, impulsarán un mercado global del hidrógeno verde y sus derivados” (Ministerio de Energía, Chile, 2020).

Además, es importante destacar que en la actualidad “la creciente disponibilidad de financiamiento verde y los beneficios tributarios vigentes para zonas extremas

son otros de los factores que contribuirán a la competitividad de los modelos de negocio basados en este combustible limpio en Chile” (Ministerio de Energía, Chile, 2020). A continuación, se muestran las proyecciones de la demanda de hidrógeno verde:



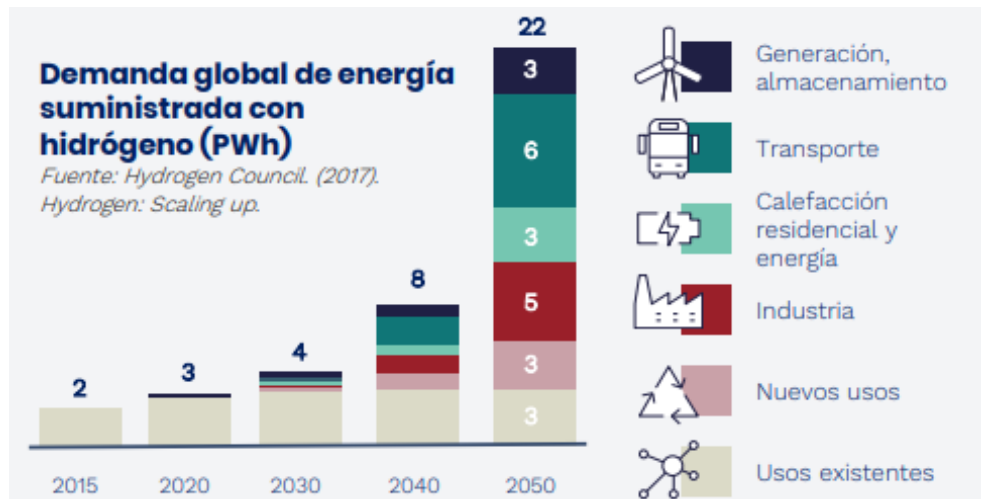
Fuente: Ministerio de Energía, Chile, 2020.

Este incremento en las exportaciones se genera, al existir una mayor concientización y valoración de las energías limpias, ya que, a nivel mundial los países buscan promover el desarrollo del mercado a través de un enfoque amigable con el medio ambiente, orientándose cada vez más hacia la sostenibilidad. Los sectores en los cuales se proyecta una demanda futura son los siguientes:



Fuente: Ministerio de Energía, Chile, 2020.

Chile ha generado un plan nacional para esta nueva fuente de energía, ya que, este es un país que posee diversos aspectos claves para la producción de hidrógeno verde a nivel territorial, dentro de los cuales encontramos en el norte y centro del país, elevados niveles de radiación solar, y fuertes y constantes vientos en la zona sur, lo cual le permite al país, generar una ventaja competitiva debido a estas energías renovables, y avanzar hacia la descarbonización nacional, potenciando el desarrollo del mercado y la competitividad local, ya que, “aprovechar el potencial del hidrógeno verde en Chile significa generar valor local en nuestras regiones y crear al menos 100.000 nuevos empleos, más sofisticados y satisfactorios, durante las próximas décadas” (Ministerio de Energía, Chile, 2020). Estas proyecciones se generan, ya que, el H2V es una innovación con un gran potencial, debido a su versatilidad en el mercado, logrando implementarse en diferentes sectores como se muestra a continuación:



Fuente: Ministerio de Energía, Chile, 2020.

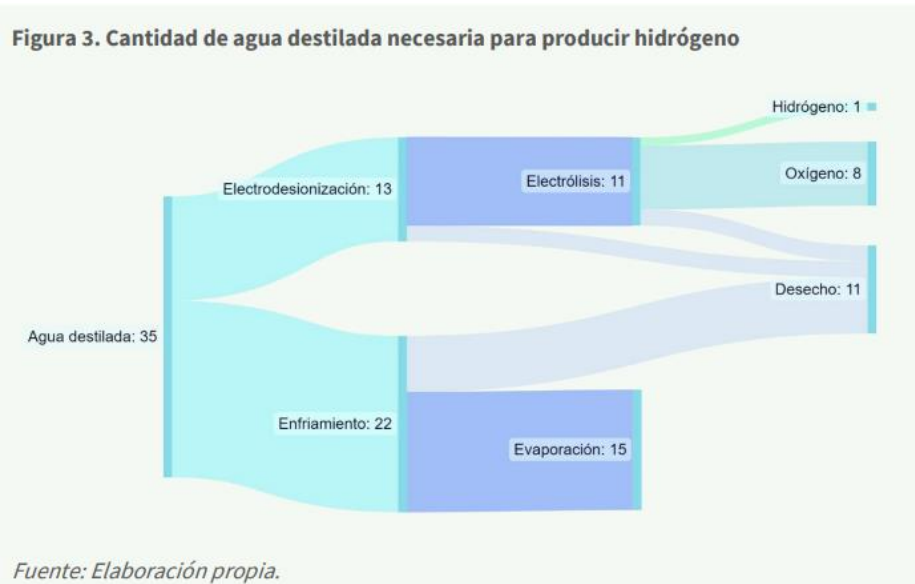
Por otra parte, este plan contempla 5 objetivos de desarrollo sostenible: energía asequible y no contaminante; trabajo decente y crecimiento económico; industria, innovación e infraestructura; acción por el clima y alianzas para lograr los objetivos, lo cual demuestra el interés de Chile por una economía sostenible, abarcando una serie de aspectos fundamentales para liderar el cambio, sin embargo, a pesar de que, dentro de los pilares de la planificación estratégica, se establece el uso equilibrado de recursos y territorio, para mejorar la calidad de vida de la ciudadanía, a la fecha no se define o especifica un programa de uso responsable del recurso hídrico. Esto es un aspecto vital para la proyección nacional, ya que, la producción de hidrógeno verde requiere del agua como materia prima fundamental, sin embargo, este recurso contempla una escasa disponibilidad desde hace décadas, lo cual representa un problema a nivel global, ya que,

“Según el último estudio (2019) de World Resources Institute del Pacto Mundial de las Naciones Unidas, 17 países de 164 -que reúnen a una

cuarta parte de la población mundial- enfrentan un estrés hídrico extremadamente alto, es decir, enfrentan una situación de gravedad debido a que la demanda de agua es mucho más alta que la cantidad del recurso disponible.

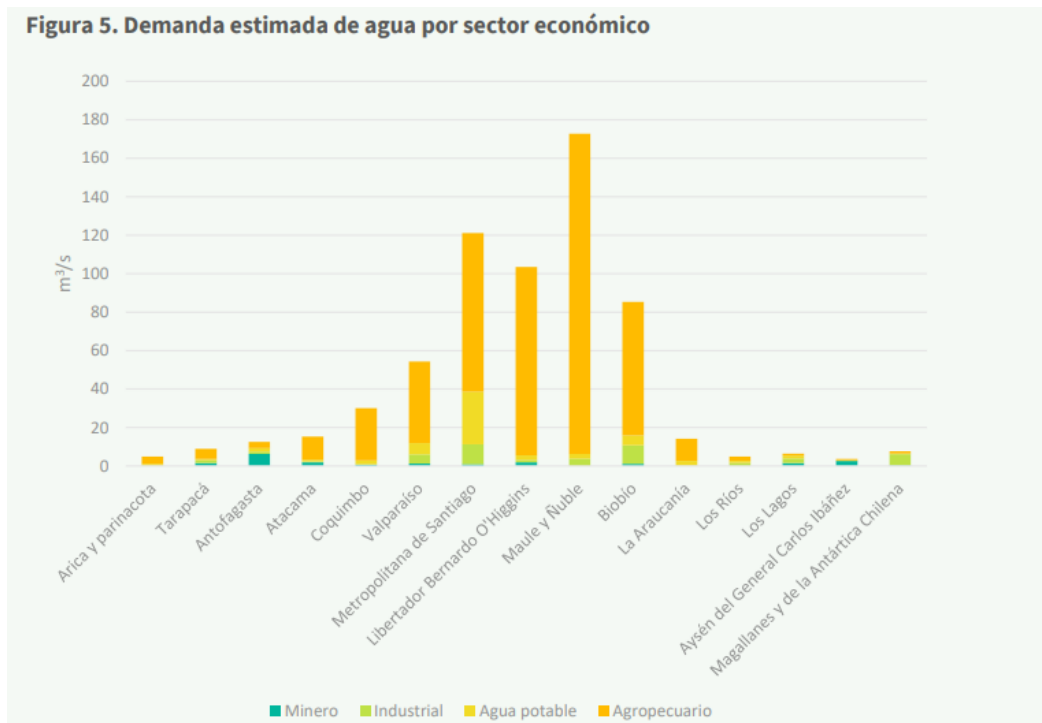
En este informe, Chile se encuentra en el puesto 18, ubicándose en el segundo nivel denominado “estrés hídrico alto”. Esta posición coloca a nuestro país como el más afectado por esta condición en América Latina, seguido por México que ocupa el puesto 24” (U. de Chile, 2024).

Debido a esto, es importante valorar, que el escenario hídrico es un aspecto vital para los ecosistemas y la biodiversidad del planeta, actualmente es un tema crítico a nivel mundial, considerando los diversos sectores que presentan sequía, a partir de aquello, se debe apreciar que la incorporación del hidrógeno verde, si bien abarca otro aspecto crucial, como lo es una nueva fuente de energía que tiene el potencial de impulsar al país a nivel global y descarbonizar la atmósfera, también requiere de este recurso natural que ya presenta una alta problemática, por lo cual es importante definir primeramente la cantidad de agua, que requerirá la producción de H₂V, como se muestra a continuación:



Fuente: International Ptx Hub, 2023.

Por otra parte, se puede identificar el consumo hídrico en Chile, por sector económico al año 2016:



Fuente: International Ptx Hub, 2023.

A partir de esto, se puede identificar que en la demanda hídrica de Chile al año 2016, la agricultura representó un 72%, un 12% el área sanitaria, un 7% por la industria y 4% por la minería.

“según datos de la Comisión Chilena del Cobre (COCHILCO), con datos a cierre de 2020, el consumo total de recursos hídricos en la minería llegó a 12.089 litros por segundo, lo que representaría 381 millones de metros cúbicos por año (Peña 2021). Si se reconoce que este consumo representa al 4% del consumo total nacional, es posible deducir que el consumo que representó el sector de la agricultura para el mismo periodo fue cercano a los 6.800 millones de metros cúbicos. Con lo anterior, la proyección esperada de demanda de agua en la minería del cobre al 2030, muestra un consumo de 22,3 metros cúbicos por segundo, lo que representa un consumo por año de 706 millones de metros cúbicos (COCHILCO 2022). El consumo esperado para ese periodo, representado por la industria del Hidrógeno Verde y de sus derivados, sería cercano a los 107 millones de metros cúbicos, que representa no más del 15% del consumo proyectado para la minería” (International Ptx Hub, 2023).

A partir de ello se identifica que la implementación de esta nueva fuente de energía no representa una alta demanda de agua, si se analiza con respecto a otros usos actuales como el del área agropecuario y minero, sin embargo, es fundamental seguir examinando diferentes medidas para enfrentar el estrés hídrico del país,

para que este no siga aumentando sus niveles e incrementando sus consecuencias desfavorables que ya afectan a diferentes zonas de Chile.

La Región de Valparaíso, en donde se planifica uno de los proyectos de H2V, es una de las localidades afectadas en donde algunas comunas ya implementaron el racionamiento de agua potable entre sus vecinos, y a pesar de que actualmente se ha generado un incremento en las precipitaciones, que han aliviado el estado de sequía, en la actualidad continúa esta escasez hídrica, como en dicha región, en donde según Esva “el temporal que afectó a la Región de Valparaíso, en el año 2023, supuso un leve avance para la condición de sequía que afecta a la zona hace ya 15 temporadas”, en donde las lluvias mejoraron la condición de las fuentes subterráneas, pero manteniéndose los déficits de precipitaciones y nieve, Valparaíso alcanzó 127 mm, lo que representa un -28,4% respecto de un año normal a la fecha. Frente a esto, “varias voces expertas señalan que ante este escenario se debe priorizar el consumo humano, fomentar una mayor cultura de ahorro, impulsar una política más audaz para enfrentar la sequía estructural y generar una nueva gobernanza del agua” (UdeC, 2022), de esta manera, se podría llegar a satisfacer las demandas presentes de este recurso, por ello es importante analizar todos los aspectos relacionados con esta área.

Si bien en la actualidad el cambio climático, provocado por la contaminación de la actividad humana, ha generado impactos desfavorables para el planeta tierra, afectando directamente al abastecimiento hídrico, existen otras variables que afectan su disponibilidad, como el alto uso dentro de algunas áreas productivas, el elevado nivel de consumo de algunas comunas, como Lo Barnechea, Vitacura y Las Condes superando por cuatro o cinco veces la media mundial, o como la

deficiente gestión de este recurso, el cual es una de las principales causas de la insatisfecha demanda de agua potable, como así lo indica “el estudio “Transición Hídrica: El futuro del agua en Chile”, presentado por Fundación Chile, el cual identifica los principales problemas vinculados al recurso hídrico: el 44% obedece a fallas en la gestión del agua y su gobernanza; el 17% es provocado por el crecimiento de las actividades productivas y el sobre otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas; y un 14% se debe a la contaminación del agua por el uso de productos químicos en la agroindustria. Las causas eminentemente naturales, como la disminución de precipitaciones de agua y nieve, el derretimiento de nieve y el retroceso de glaciares por aumento de temperaturas, aparecen recién en un cuarto lugar, con un 12%” (UdeC, 2022). Esto indica que en el país, además de una mayor orientación al área sostenible para mitigar los efectos de la contaminación, es necesaria una nueva política relacionada a la gestión de este recurso, con el fin de generar una reforma al sistema actual para una eficiente administración, que maximice los beneficios sociales y económicos, cambie la cultura nacional de utilización del recurso, y lidere el cambio a través de nuevas normas que faciliten la adaptación de la población, con respecto a esto se han generado diversas propuestas para la transición, “algunas de las medidas que se consideran son la protección de las zonas naturales para recarga de acuíferos, reforestación con especies nativas, reparación de las riberas de los ríos, pavimentos permeables y plazas de agua para recarga de acuíferos en zonas urbanas, tecnificación de riego y recambio a cultivos con menor requerimiento hídrico, entre otras” (UdeC, 2022).

El hidrógeno verde es una innovación mundial que ha revolucionado el mercado, por lo cual, diferentes países están interesados en ella, dentro de estos se encuentra Alemania, la cual ha identificado que, si bien, existe una prometedora proyección de su implementación, en cuanto a modelo de negocio, existe una deficiente cantidad de investigaciones que se han realizado con respecto al área ambiental:

Tabla 1

Medibilidad de los criterios de sostenibilidad propuestos para la producción de hidrógeno verde
 Leyenda: Verde = criterio detallado y medible; Amarillo = criterio mencionado, sin especificación medible; Rojo = criterio no mencionado en absoluto. Consejo Nacional Alemán del Hidrógeno [26], Heinemann y Mendelevitch [27], Consejo Asesor Alemán sobre Medio Ambiente [8], Morgen et al. [28], PtX Hub [29].

	[26]	[27]	[8]	[28]	[29]
Uso del agua	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Uso del suelo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Uso de recursos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Emissiones	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Residuos y subproductos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Evaluación de impacto	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Agua para necesidades básicas	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Energía para necesidades básicas	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Salud	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Derechos humanos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Empleo y valor añadido	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Participación financiera	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Transferencia de tecnología y conocimiento	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Generación de electricidad	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Neutralidad de CO2	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Procesos participativos	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Uso de hidrógeno	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Fuente: Europa-Universität Flensburg, Alemania, 2023.

Es por ello que el Departamento de Gestión Energética y Ambiental de Alemania, ha definido diversos criterios para una eficiente transición energética, dentro de los más importantes se destacan los “criterios de sostenibilidad con indicadores asociados en la categoría de impacto de medio ambiente:

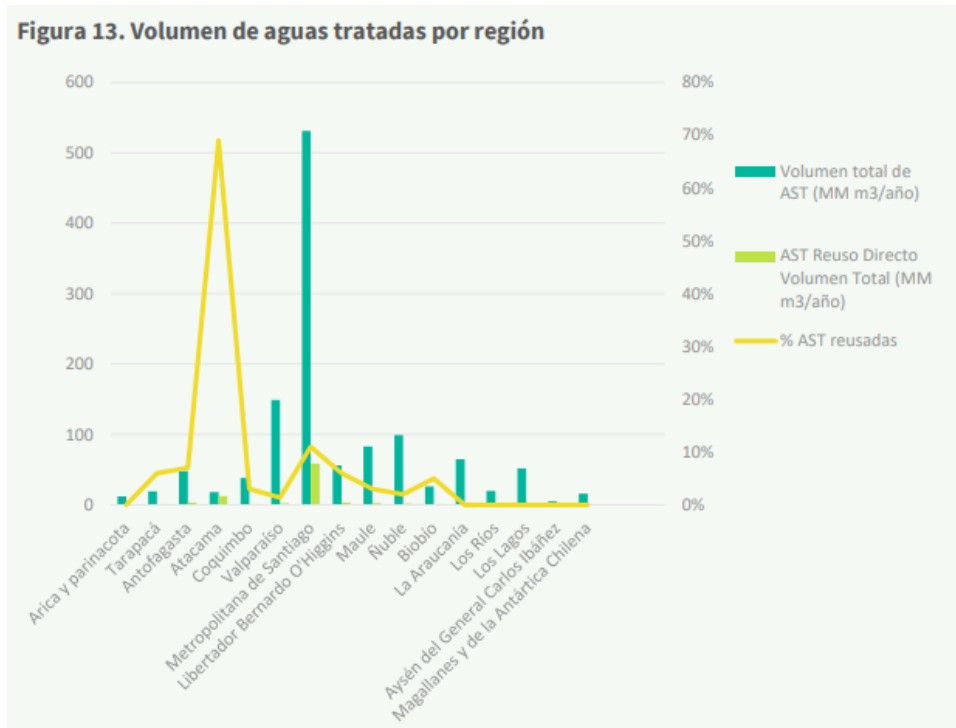
- Uso del suelo: Exclusión de áreas protegidas, evitación del uso de la tierra con respecto a los derechos de uso informal de la tierra y a la tierra utilizada culturalmente, no se permitirá la conversión ni sellado de tierras agrícolas en uso productivo, construcción de electrolizadores principalmente en áreas industriales.
- Uso del agua: Exclusión del uso de aguas superficiales y subterráneas para la producción de H₂ en zonas con estrés hídrico, para la electrólisis no se utilizarán plantas de desalinización existentes, sino otras nuevas que funcionen con capacidades renovables adicionales y la desalinización no debe tener efectos nocivos sobre el medio ambiente.
- Emisiones: No se deben superar los límites nacionales de emisión de ruido en zonas residenciales; se recomienda un valor máximo de 40 dB durante la noche” (Europa-Universität Flensburg, Alemania, 2023).

Por otra parte, en cuanto a la planta de electrólisis para la producción de hidrógeno, se definen otros subproductos generados, el calor y oxígeno, es necesario gestionar eficientemente estos elementos, identificando que “el oxígeno se puede utilizar en la industria del acero o para el tratamiento de aguas residuales, lo que crea sinergias y oportunidades financieras adicionales para hacer que la producción general de hidrógeno sea más competitiva” (Europa-Universität Flensburg, Alemania, 2023). Además se señala que la participación o consideración de la comunidad durante todo el proceso, es fundamental para el éxito de implementación, en donde, “durante todo el proceso se deben establecer canales de difusión de información para mantener informados a los residentes

locales sobre la fase de construcción y operación del proyecto” (Europa-Universität Flensburg, Alemania, 2023), esto debido a que, las comunidades están resentidas con las intervenciones productivas, por lo cual hacerlos partícipes del desarrollo e implementación de una nueva infraestructura, es vital, otorgando transparencia y por ende una mayor confianza en el desempeño, ya que, actualmente existe un descontento social debido a los excesivos niveles de contaminación, malas gestiones, o la desigualdad que se ve reflejada incluso por parte de los líderes corporativos o entidades gubernamentales, en donde a nivel mundial las zonas vulnerables son las más afectadas, ya que, por ejemplo estos sectores son escogidos para almacenamiento de basura, desechos tóxicos e incluso concentración de actividades productivas que liberan contaminantes al ecosistema, como en las llamadas “zonas de sacrificio”, a partir de esto se ha generado un resentimiento social a las intervenciones productivas, por lo cual, es muy probable que exista una desconfianza al generar importantes cambios, como en los que trae consigo una transición energética, ya que, como se mencionó anteriormente existe una escasa disponibilidad de agua, por ende, esta transición no solo abordará cambios en los modelos económicos y utilización de energía, sino que implicará nuevos métodos de gestión del recurso hídrico, métodos que ya se están implementando a nivel mundial, tanto a nivel industrial como doméstico, a través de la desalinización y reutilización de aguas residuales, lo cual representa una adaptación difícil para las personas, sobre todo si no existe una educación al respecto.

En cuanto al H₂, por ejemplo “en los Países Bajos, la baja confianza en la ciencia y la tecnología en general ha promovido un marcado descenso en la aceptación del hidrógeno entre 2008 y 2013” (Sustainability, 2023), por otra parte, “aspectos como la comunicación y la educación aparecen, como en el caso de Japón y países del sudeste asiático, donde se ha concluido que proporcionar información sobre los riesgos asociados a las aplicaciones del hidrógeno verde (como las estaciones de repostaje de hidrógeno para vehículos), incrementa su aceptación al aliviar sentimientos de miedo o incertidumbre asociados a esta tecnología” (Sustainability, 2023), ejemplo que debería replicarse en múltiples áreas, ya que, es un aspecto importante para que la sociedad no presente resistencia al cambio, fomenta y colabore en un eficiente proceso, a partir de esto, es necesario evaluar los grados de desconocimientos existentes en el país, ya que, si bien el H₂V es una gran innovación en el mercado a nivel mundial, no existe una conciencia respectiva en la gran mayoría de la sociedad, “estudios muestran que el grado de conocimiento sobre el hidrógeno verde en la población es precario. Por lo tanto, surge la necesidad de involucrar a diferentes actores y sistemas para generar conocimiento compartido o co-construido en pos de futuras políticas energéticas, donde el conocimiento científico y el conocimiento lego puedan interactuar y cooperar” (Sustainability, 2023). Dentro de este conocimiento compartido, es importante generar instancias para la innovación, participación y transparencia en cuanto a las deficiencias o riesgos existentes, para que de esta manera exista una mayor concientización y orientación a la búsqueda de soluciones de corto y largo plazo, junto con el desarrollo de investigación y creación de nuevas medidas o tecnologías emergentes.

Actualmente existen dos alternativas claras para mitigar los efectos de la producción de hidrógeno en el recurso hídrico, la desalinización y el tratamiento de aguas. “Chile cuenta con un alto grado de tratamiento de aguas residuales, aproximadamente el 99,98% de cobertura urbana, gracias a las 302 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en operación. Sin embargo, sólo se reutiliza un 6% de estas aguas tratadas, lo que corresponde a unos 73 millones de metros cúbicos al año. Esta cifra indica una oportunidad para aprovechar el restante 94,2% de aguas residuales tratadas, permitiendo suministrar 1.152 millones de metros cúbicos anuales de agua bruta, equivalente a más de 4 veces el volumen del embalse El Yeso” (International Ptx Hub, 2023). Si bien Valparaíso tiene el segundo mayor volumen de aguas servidas tratadas (AST) a nivel nacional, su reuso directo o porcentaje de reutilización de AST, es uno de los más bajos, considerando que la mayoría de las regiones contempla este escenario, como se muestra a continuación:



Fuente: International Ptx Hub, 2023.

Para aplicar la medida de reutilización de aguas, tanto a nivel industrial, como doméstico, es fundamental generar una serie de medidas para fomentar su aplicación, además de abordar la concientización, educación y comunicación a la sociedad efectivamente, ya que, “finalmente, el factor social, se posiciona como una arista limitante para una mayor reutilización de las aguas residuales tratadas, considerando la aceptación de consumir y sus percepciones de reuso, a pesar de la evidencia empírica que muestran que tal reuso es seguro” (International Ptx Hub, 2023). Existen países que fomentan fuertemente este tipo de educación y concientización, logrando implementar un nuevo sistema de gestión hídrica, como las “directrices australianas para el reciclaje de agua: ampliación del suministro de agua potable, recolección y reutilización de aguas pluviales, recarga gestionada

del acuífero” (Nick Apostolidis, Australia, 2011), además es importante considerar que estas “directrices adoptaron el principio de las 3R, que básicamente decía que antes de poder descargar en cualquier vía fluvial, se debe demostrar que se han tomado todas las medidas para reducir, reutilizar o reciclar las aguas residuales antes de que se conceda la aprobación ambiental. Las directrices también exigían que la comunidad participará en el proceso de planificación para garantizar que hubiera un amplio apoyo de la comunidad y de las partes interesadas para los esquemas de reciclaje de agua nuevos o mejorados” (Nick Apostolidis, Australia, 2011), todas estas medidas permitieron la generación de innovaciones en el área de gestión hídrica, elaborando opciones efectivas para la reducción de consumo de agua potable, es decir, que se genera un ahorro de agua que podría haber sido proveniente de un origen limpio o extraída desde el mar, por ejemplo las plantas de tratamiento “suministran agua reciclada a unos 19.000 hogares para la descarga de inodoros, el riego de jardines, el lavado de automóviles y otros usos al aire libre. El sistema suministra agua reciclada a través de un tercer sistema de tuberías "violeta" para garantizar que el suministro de agua potable y el agua reciclada estén separados” (Nick Apostolidis, Australia, 2011). Además de estas diversas medidas de acción, para liderar y fomentar una mayor adopción e innovación en la gestión del recurso hídrico, es necesario un cambio de cultura, a través de la participación activa de la sociedad, como se define en un estudio en Australia en donde se proyecta que “para lograr un aumento en el uso de agua reciclada, sería necesario: introducción de programas comunitarios y de partes interesadas para aumentar la conciencia sobre los beneficios de agua reciclada, un aumento de los precios del agua potable para permitir que el agua reciclada

compita, en lugar de mantener los precios a niveles artificialmente bajos, programas de investigación que cubran los aspectos ambientales, sociales y de salud pública del agua reciclada para crear y generar confianza en la comunidad” (Nick Apostolidis, Australia, 2011).

Por otra parte, la desalinización es una opción fuertemente considerada para la producción de hidrógeno verde, por ello, es importante considerar su impacto ambiental, principalmente las aguas de rechazo que genera la planta, las cuales presentan obviamente una mayor concentración de sales, es decir, una salinidad superior entre 1,09 y 1,82 en comparación a la fuente de origen. Actualmente en Chile, se encuentra la empresa Aguas Pacifico, la cual comenzó la construcción de su primera planta desalinizadora en la bahía de Quintero- Puchuncaví, en el año 2022, dentro de sus iniciativas se encuentran la desalinización para diferentes clientes e industrias, así como también el abastecimiento de agua potable a sectores afectados por la sequía, en donde su operación utilizará solo energía renovable, además se asegura, que el proceso no incorpora ningún elemento adicional a esa agua que retorna al mar, solo aumenta la concentración de sal y esta será diluida mediante set de difusores, para que en un radio mayor a 6 metros y en un tiempo no mayor a 2 segundos, el mar alcance la salinidad original. La cantidad de agua de mar necesaria para la producción de hidrógeno se muestra a continuación:



Fuente: International Ptx Hub, 2023.

Como se mencionó anteriormente, la desalinización es una medida considerada fuertemente para abastecer la producción de Hidrógeno verde, sin embargo, es importante destacar que el coeficiente de recuperación del tratamiento de aguas residuales, es mayor al del agua de mar, lo cual indica que tiene una menor cantidad de desecho, es decir, que esta genera 0,35 kg de desechos, en comparación al agua de mar que produce 0,58 kg de salmuera, representando una opción efectiva como fuente de agua bruta:

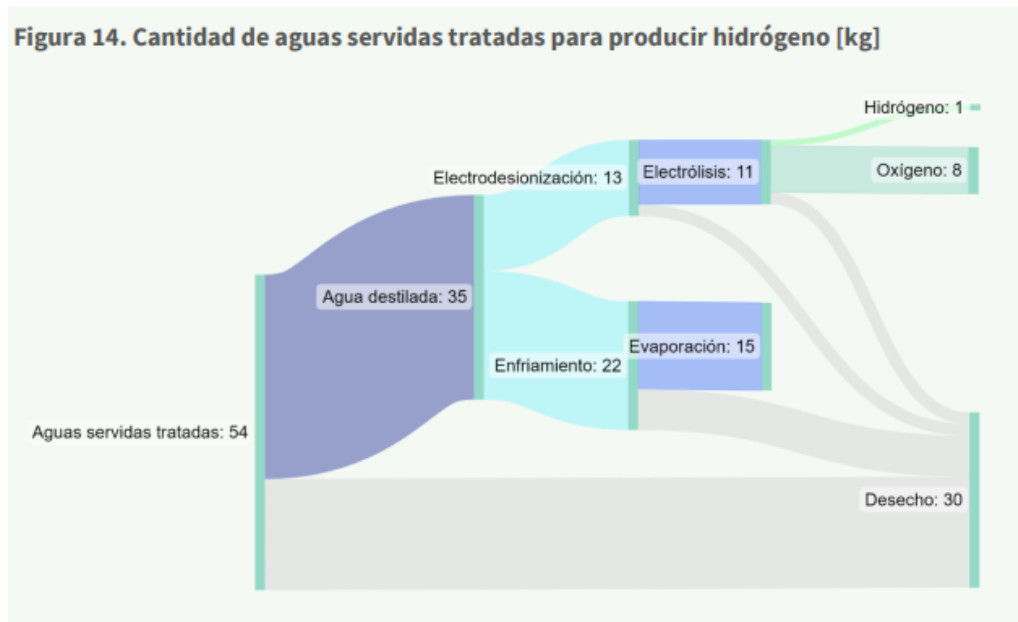
Tabla 3. Coeficiente de recuperación para Osmosis inversa

Fuente de agua bruta	Coeficiente de recuperación (RR)
Agua de mar (SW)	0,42
Agua salobre (BW)	0,65
Aguas superficiales de río (RW)	0,81
Agua pura (PW)	0,86
Salmuera (BW)	0,19
Aguas residuales (WW)	0,65

Fuente: (Jones, et al. 2018)

Fuente: International Ptx Hub, 2023.

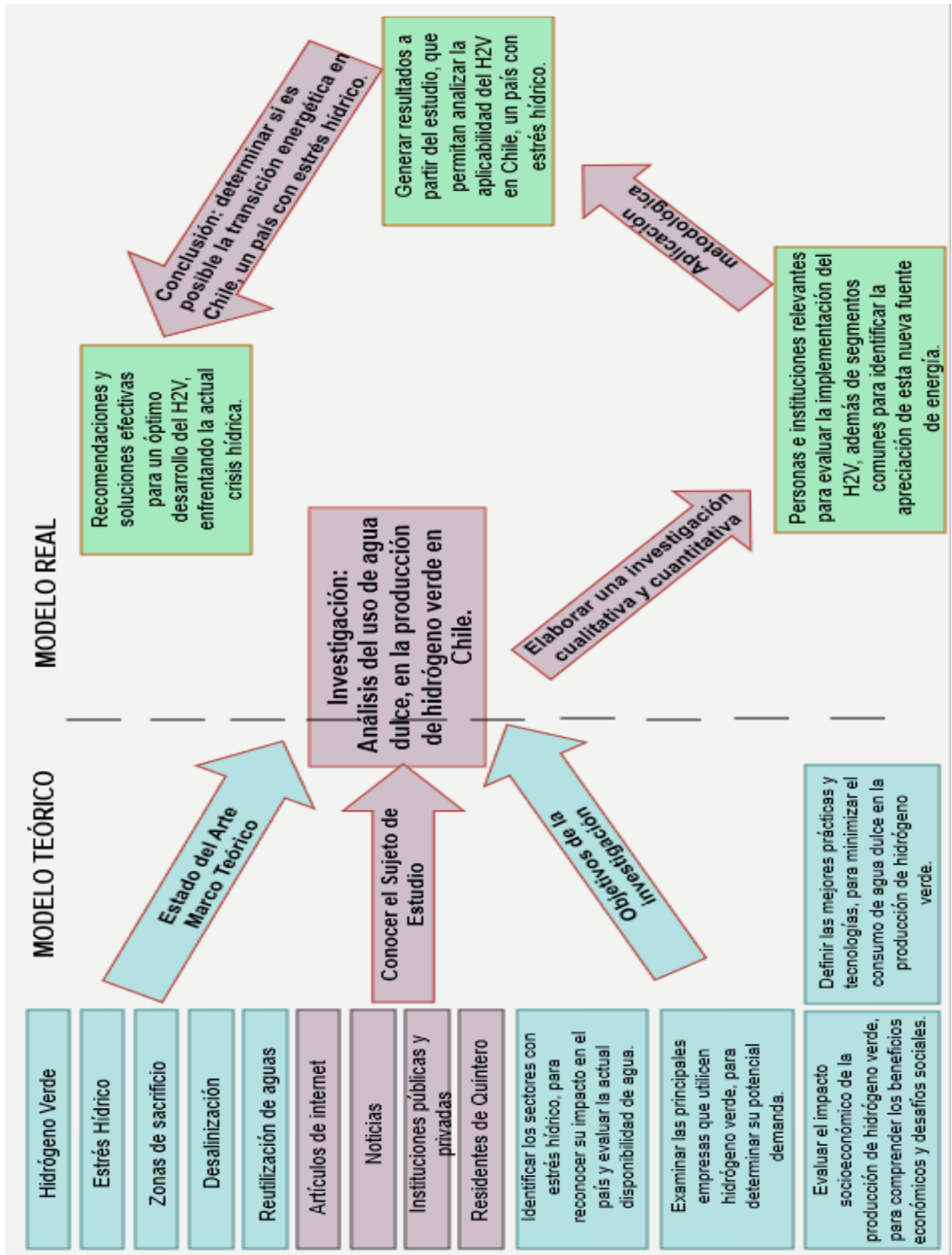
Además “si se considera como una posibilidad que la industria se abastezca enteramente de agua de mar, entonces se requeriría extraer anualmente más de 255 millones de metros cúbicos del mar para ser tratados. En tanto si se considera el escenario en que el consumo hídrico sea satisfecho enteramente por aguas servidas tratadas, la industria requeriría cerca de 166 millones de metros cúbicos anualmente” (International Ptx Hub, 2023). A continuación, se puede observar la cantidad de aguas tratadas necesarias, para la producción de hidrógeno:



Fuente: International Ptx Hub, 2023.

Finalmente, si bien la desalinización es considerada actualmente viable, es importante explorar nuevos campos, como el tratamiento de aguas residuales, las cuales también pueden ser implementadas en procesos industriales, uso doméstico o comercial, para así fomentar una economía circular o el desarrollo de nuevas tecnologías para reforzar y potenciar una economía sostenible.

Evolución del modelo teórico de la investigación:



5.2 DESCRIPCIÓN DEL SUJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio es la generación de hidrógeno verde (H2V), en el contexto de estrés hídrico, el cual está presente a lo largo del territorio chileno, donde se planifican diversos proyectos de transición energética. Si bien, esta innovación puede generar polos de inversión, actividad local e incremento de exportaciones, los cuales se ven proyectados en el actual plan de H2V del país, contempla una materia prima fundamental para su operación, el agua.

El hidrógeno verde, es una energía limpia, la cual se produce a través de electrólisis, un proceso químico, que utiliza la electricidad para separar el hidrógeno y el oxígeno presentes en el agua, utilizando energías renovables como la eólica o solar. Chile presenta un gran potencial de dichas energías renovables, ya que, contempla altos niveles de radiación solar en el norte y centro del país, y fuertes vientos en la zona sur. Además, actualmente existen diversos financiamientos verdes, beneficios tributarios para zonas extremas y fuerte orientación al enfoque sostenible, junto con proyectos, activación de industria, desarrollo de exportación, investigación y desarrollo y la gran utilidad del hidrógeno, por sus diversos usos, como en el transporte, agricultura, acero, industria petroquímica y otras, como se muestra a continuación:



Ministerio de Energía, 2020.

En virtud de esto, se observa un gran potencial en el desarrollo de modelos de negocios del mercado y la competitividad local, además de estar avanzando hacia la descarbonización nacional, una visión muy prometedora para el desarrollo económico y productivo del país. Sin embargo, al utilizar el agua como elemento fundamental para su producción, compromete recursos esenciales para la sociedad y el medio ambiente, recursos que ya están en dificultades desde hace décadas.

El estrés hídrico de Chile contempla una larga trayectoria a través de los años, este es un fenómeno que se produce cuando la demanda de agua dulce, supera la cantidad accesible de ella en un tiempo determinado, y según un reciente informe de Aqueduct Water Risk Atlas, el país está posicionado en el puesto 16 a nivel mundial con mayor estrés hídrico, esto ha sido provocado principalmente por la mala gestión del agua y el cambio climático, consecuencia en gran parte de la

contaminación generada por la actividad humana, por otra parte, la escasa disponibilidad del recurso hídrico provoca pérdida de la biodiversidad, efectos negativos en la agricultura y ganadería, demanda insatisfecha de agua potable e incluso conflictos económicos y sociales.

Como se mencionó anteriormente, el estrés hídrico está presente a lo largo del territorio nacional, incluyendo los sectores en donde se planifican futuros proyectos de hidrógeno verde, es por ello que, el sujeto de estudio se centrará en uno de ellos, la región de Valparaíso, específicamente en la localidad de Quintero, el cual se considera una zona donde las actividades productivas han generado impactos ambientales desfavorables, degradando ecosistemas y afectando la calidad de vida de la comunidad local, debido a que en estos territorios denominados zonas de sacrificio

“Se concentran actividades relacionadas con la minería, la actividad portuaria, el sector energético, la construcción y el ámbito agropecuario intensivo. Esta concentración es permitida por las normas vigentes en el país, que a su vez no logran garantizar el derecho constitucional de las comunidades locales a vivir de manera sana en un medio ambiente libre de contaminación” (UC, 2022).

Si bien la planta de electrólisis no contribuirá a la contaminación del aire, a través de emisiones de gases de efecto invernadero, compromete aún más los recursos hídricos, debido a esto es importante examinar y definir, opciones y medidas complementarias para mitigar estos riesgos y fomentar una orientación económica sostenible.

3.3 MARCO TEÓRICO DEL ESTADO DEL ARTE

1.- Hidrógeno verde como nueva fuente de energía.

El hidrógeno es un elemento químico muy abundante en el planeta tierra y según el Centro Nacional de Hidrógeno

“constituye aproximadamente el 75 % de la materia del Universo, pero se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno formando moléculas de agua, o al carbono, formando compuestos orgánicos. Por tanto, no es un combustible que pueda tomarse directamente de la naturaleza, sino que es un vector energético (como la electricidad) y por ello se tiene que fabricar.”

Existen diversos tipos de hidrógeno, generados por diferentes métodos dependiendo de las materias primas, fuentes de energía o procedimientos que se utilicen, dentro de estos se encuentran procesos renovables, fósiles o híbridos, en la actualidad la gran mayoría del hidrógeno se produce a través de combustibles fósiles. Al día de hoy, se encuentran 7 tipos de este elemento químico, el hidrogeno dorado, negro, gris, azul, turquesa, rosa y verde.

El hidrógeno verde, representa actualmente una nueva fuente de energía para diversos países, incluyendo Chile, en donde ya se presentan múltiples proyectos, esta es una energía limpia, sin emisiones contaminantes a la atmósfera, la cual se produce a través de la electrólisis, un proceso químico en donde se utiliza la electricidad, proveniente de energías renovables como la eólica o solar, para separar el hidrógeno del oxígeno presentes en el agua, cuando se requiere

convertirlo en energía el hidrógeno se canaliza hacia una pila de combustible, obteniendo energía eléctrica.

La importancia del H₂V radica en el hecho de que la sociedad, está cada vez más interesada y orientada hacia medidas amigables con el medio ambiente, debido a que a partir de diversos estudios, se ha identificado el elevado nivel de contaminación que ha generado la actividad humana a lo largo del tiempo, una de las más destacadas son las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, las cuales son provocadas por diferentes sectores, principalmente el sector energético para el área de transporte, comercial, petroquímica, viviendas, entre otros. La contaminación ambiental generada en las últimas décadas ha provocado muchos efectos negativos en el planeta tierra, afectando a todos los seres vivos que en ella habitan, efectos como el cambio climático, pérdida de la biodiversidad, aumento de enfermedades, sequía, pérdidas de cultivos y ganado, entre otros. Esto afecta directamente a la calidad y esperanza de vida de todas las personas, es por ello que, para impedir el incremento de estas consecuencias desfavorables, se han desarrollado e implementado diferentes medidas para mitigar los posibles riesgos de la contaminación a nivel global. Debido a esto, la utilización del hidrógeno verde como energía limpia, tiene un futuro prometedor en el mundo, a pesar de que existen algunas barreras actualmente, como el mayor costo de producción, en comparación con el hidrógeno gris, el cual se obtiene a partir del gas natural, o el nivel de inversión para su implementación a nivel mundial en cuanto a infraestructura e investigación, sin embargo, el proceso de electrólisis no tendrá un elevado precio de electricidad, debido a que, a la fecha existe una

baja en el precio de energías renovables generando que el costo sea cada vez más competitivo, por otra parte, la creación de políticas de desarrollo para fomentar la utilización de hidrógeno verde, pueden incrementar significativamente su demanda, además es importante destacar la gran versatilidad de este elemento, debido a que se puede emplear en diversos sectores, como en el transporte a través de combustible, y según Acciona, S. A. “como materia prima en la industria química para fabricar amoníaco y fertilizantes, en la industria petroquímica para el refinado del petróleo y en la metalurgia para obtener acero”, para almacenamiento de energía, uso doméstico en electricidad y calefacción, entre otros, de esta manera se avanza hacia la descarbonización mundial, una propuesta en la que diversos países se han incorporado, debido a ello, el gobierno chileno ha generado una plan estratégico para esta nueva fuente de energía, en donde se proyectan incrementos en los niveles de exportación, actividad local, investigación y desarrollo, entre otros.

2.- Impacto ambiental del hidrógeno verde

Si bien, el hidrógeno verde se produce a partir de energía renovable, la cual no genera ningún tipo de contaminación ambiental, este proceso requiere de una materia prima fundamental, el agua, este es un elemento esencial para la fabricación de H₂V, por lo cual se incrementará la demanda de este recurso. El recurso hídrico es primordial para la existencia de vida sobre la tierra, es un elemento finito, el cual ha sido contaminado por la actividad industrial a lo largo de los años, lo que genera un problema crítico para la sociedad, sobre todo cuando actualmente se ha provocado un cambio climático drástico, afectando la

temperatura del planeta e influyendo en las precipitaciones, causando tormentas intensas o aumento de la sequía, escasez de alimento, pérdida de especies, aumentos en el nivel del mar, entre otros. Debido a esto, la sociedad actualmente se ha concientizado mucho más sobre el tema, aplicando y exigiendo medidas para mitigar estos riesgos, en cuanto a la industria, cada vez se integran más productos y procesos amigables con el medio ambiente. Finalmente, la planta de electrólisis para la producción de hidrógeno verde compromete aún más el recurso hídrico de las diferentes zonas en donde se planifican proyectos de transición energética, sectores que ya presentan un estrés hídrico a la fecha.

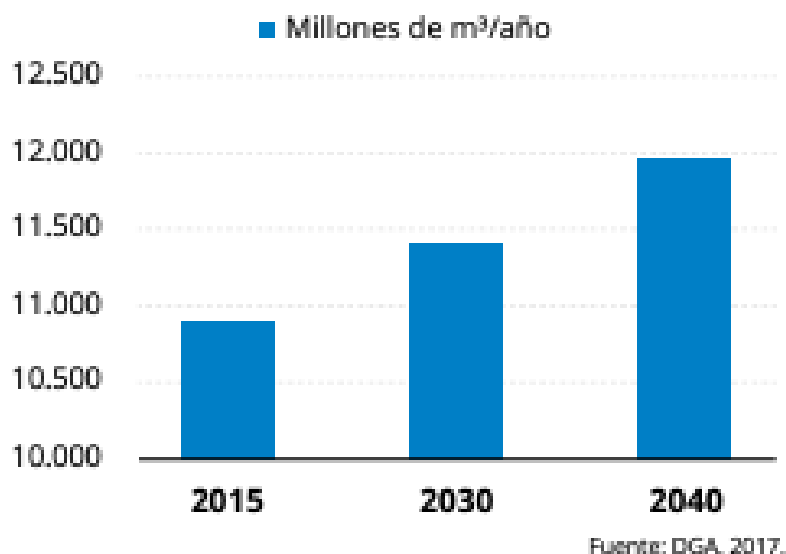
3.- Estrés hídrico en Chile

Se considera estrés hídrico cuando la demanda de agua es más elevada a la que se encuentra disponible para la sociedad, en un tiempo determinado, esto ha sido una problemática a nivel mundial, en Chile específicamente es una complicación que se ha incrementado a lo largo de los años, principalmente por la mala gestión de este recurso y la actividad humana, la cual ha contaminado y agotado diferentes fuentes disponibles, además según la Universidad de Chile “en un reciente informe de Aqueduct Water Risk Atlas, se ha situado a Chile en el puesto 16 a nivel mundial con mayor estrés hídrico, lo que evidentemente amerita una urgente necesidad de abordar esta problemática de manera integral y urgente”.

Debido a esto, la sociedad se ha orientado a promover y estudiar diversas medidas para cuidar este recurso, con una fuerte orientación sostenible, en donde se satisfacen las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad de satisfacer las de las generaciones futuras, aspecto vital para la sobrevivencia

humana, ya que, es necesario abordar nuevas técnicas y procesos para no comprometer el recurso hídrico, innovaciones que ya se están aplicando a nivel mundial, como la desalinización o la reutilización de aguas, sin embargo a la fecha es necesaria una mayor educación, concientización y aplicación de estas medidas en diversas áreas de la sociedad, tanto industrial como doméstica, para que de esta manera se pueda generar una mejor gestión del recurso e incluso una actividad industrial basada en la economía circular, aspecto fundamental para seguir satisfaciendo las diversas necesidades de las sociedad, en la cual, según las Naciones Unidas en Chile, se proyecta un incremento en la demanda del recurso hídrico, como se muestra a continuación:

**FIGURA 1 | DEMANDA CONSUNTIVA DE AGUA
ACTUAL Y PROYECCIÓN AL 2030 Y 2040**



Fuente: Naciones Unidas en Chile, 2021.

4.- Zonas de Sacrificio.

Las llamadas zonas de sacrificio son sectores geográficos asignados por parte de la administración del país correspondiente, en donde el proceso de identificación y designación de estos lugares, son aspectos fundamentales en la planificación urbana e industrial del país, permitiendo que el gobierno pueda gestionar el uso del suelo y optimizar la ubicación de actividades que, de no ser controladas, podrían afectar áreas más pobladas.

Estas zonas, son sectores en el cual se concentran actividades industriales, de infraestructura o extractivas, relacionadas comúnmente con proyectos del área minera, portuaria, del sector energético, agropecuario o de construcción, los cuales, si bien son considerados necesarios para el desarrollo económico del país por su creciente productividad, generan impactos ambientales desfavorables que degradan los diferentes ecosistemas del sector, afectando negativamente la calidad de vida de la comunidad local, no solo por sus efectos dañinos al medio ambiente, sino porque este tipo de actividades productivas liberan contaminantes nocivos para la salud de las personas, que terminan desarrollando enfermedades de diferente índole. Las zonas de sacrificio, si bien son lugares en donde a menudo se generan altos costos sociales y ambientales, son sectores que suelen estar ubicados en puntos estratégicos del territorio nacional, ya que, por lo general se centran en regiones que presentan abundantes recursos naturales para que su explotación pueda contribuir significativamente al crecimiento económico, desarrollo local, atracción de inversión y creación de empleo.

La asignación de estos territorios por lo general significa generar un desplazamiento de las comunidades, ya que, para la gestión de los diversos proyectos creados en dichos lugares, es necesario muchas veces elaborar una expropiación de tierras o bien, el solo hecho de afectar el diario vivir de estas localidades, con consecuencias desfavorables para su calidad de vida, es un aspecto suficiente para un desplazamiento social, ya que estos, a menudo enfrentan la pérdida de sus medios de subsistencia, cultura y vínculos sociales, a través de una contaminación ambiental significativa, degradando la calidad del aire, agua y suelo, lo cual provoca que las comunidades orientadas, por ejemplo, a la agricultura pierdan los medios para elaborar sus actividades productivas eficientemente, además el nivel de contaminación no solo se limita al área en donde se establecen los proyectos, ya que, esta puede expandirse a sectores aledaños a la comunidad, alterando también sus ecosistemas y biodiversidad.

“Esta concentración es permitida por las normas vigentes en el país, que a su vez no logran garantizar el derecho constitucional de las comunidades locales a vivir de manera sana en un medio ambiente libre de contaminación” (UC, 2022), asimismo es importante destacar que las personas afectadas suelen ser de grupos sociales vulnerables, que por lo cual tienen una menor capacidad para hacer valer sus derechos y acceder a medidas o compensaciones adecuadas, para el nivel de intervención y consecuencias que implica designar a dichos lugares, una concentración de las actividades productivas mencionadas anteriormente, fomentando la desigualdad social y económica, y potenciando aún más la injusticia social, es por ello, que las zonas de sacrificio suelen ser el centro de debates

legales, políticos y sociales. A partir de esto, es fundamental examinar las políticas que permiten este hecho, y elaborar diversas medidas para que la regulación ambiental pueda mitigar el máximo nivel de sus efectos.

Actualmente existe un creciente interés en la búsqueda de alternativas que permitan el desarrollo económico del país, sin sacrificar comunidades o el medio ambiente, incluyendo tecnologías limpias y emergentes, prácticas sostenibles y enfoques participativos en la planificación territorial, además también es importante analizar diferentes estudios de caso, donde se realicen ejemplos específicos de zonas de sacrificio, tanto a nivel nacional como internacional, lo cual puede proporcionar una visión más profunda sobre sus diversas dinámicas y consecuencias, ya que, si no se abordan estos aspectos, no solo se estará sobreexplotando sectores que puedan perder todo su potencial por la contaminación, sino que existirá aún más resistencia y oposición colectiva, lo cual puede llegar a generar diversas protestas y movimientos sociales para transparentar una necesidad insatisfecha donde se vulnera a la sociedad, de esta manera las personas pretenden generar conciencia sobre las injusticias ambientales y sociales, así como promover cambios en las políticas públicas.

Finalmente, las zonas de sacrificio representan un dilema crítico en la búsqueda de un desarrollo sostenible, ya que, si bien pueden ofrecer beneficios económicos y desarrollo local, es fundamental considerar y abordar los impactos sociales y ambientales que generan, debido a que una gestión responsable de estas áreas, junto con la inclusión de las voces de las comunidades afectadas, es esencial para construir un futuro más equitativo y sostenible.

5.- Método propuesto para mitigar los efectos de la utilización de agua, en la producción de H₂V.

International PtX Hub, ha analizado “tecnologías existentes como la desalinización y el reúso de aguas tratadas, con el objetivo de ofrecer alternativas de obtención de agua mientras se consideran impactos ambientales, económicos y sociales para su implementación”. La desalinización es un proceso en donde se trata el agua de mar o salobre, eliminando la sal existente en ellas, convirtiéndola en una agua adecuada para las actividades industriales, uso doméstico como consumo o agrícola, actualmente en Chile las plantas desalinizadoras utilizan la ósmosis inversa, en la cual se utiliza una membrana semipermeable para separar sustancias del agua purificada, este es un proceso que utiliza menos consumo energético, en comparación con la desalación térmica, sin embargo, se están estudiando otras formas más eficientes y con menor consumo energético, como el uso de una sustancia orgánica que en contacto con el dióxido de carbono, actúa como una esponja que absorbe la sal, sin necesidad de electricidad, ya que, es un proceso químico, la desionización que emplea electrodos para atraer los iones de sal o la desalinización pasiva que utiliza la energía solar para optimizar la evaporación, entre otros. Si bien las desalinizadoras son una opción viable ante el estrés hídrico del planeta, existe preocupación por los desechos de salmuera que genera, los cuales pueden dañar a las comunidades marinas afectando la biodiversidad, ante esto diversos estudios establecen que en las plantas, en donde se utiliza el método de ósmosis inversa, realizan diversos procedimientos para que estos desechos de salmuera se puedan diluir, en cuanto a su concentración de sales, e incorporarse al mar, equilibrándose en el menor tiempo posible.

“Además del agua de mar, la reutilización de aguas residuales sometidas a tratamiento adecuado ofrece una nueva fuente de recursos hídricos. Esto implica recircular aguas descartadas de diversos orígenes, como procesos industriales, uso doméstico o comercial, para su empleo en la producción de hidrógeno verde y derivados” (International Ptx Hub, 2023). Actualmente en Chile existe tratamiento de aguas residuales, en donde se tratan el 99,98% de las aguas servidas urbanas, sin embargo, no se reutiliza más del 6% de estas. “Lo anterior, presenta una oportunidad para aprovechar el 94,2% de aguas residuales restantes para el tratamiento y posterior uso en la industria de la producción del Hidrógeno Verde y sus derivados, permitiendo aportar 1.152 millones de metros cúbicos al año de agua bruta, lo que es comparable a más de 4 veces el volumen útil total del embalse El Yeso”. (International Ptx Hub, 2023)

Adicionalmente, la implementación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales puede contribuir a la creación de empleos verdes y al desarrollo económico local, al tiempo que mejora la resiliencia de las comunidades frente al cambio climático. La integración de estas tecnologías, tanto maduras como emergentes, no sólo diversifica las fuentes de suministro hídrico, permitiendo nuevas opciones complementarias, sino que también permite la protección y recuperación de acuíferos naturales, los cuales ya se encuentran sobreexplotados, garantizando así un uso más sostenible de los recursos hídricos.

6. PROPUESTA METODOLÓGICA

El propósito central del estudio es lograr determinar la factibilidad de la implementación del hidrógeno verde, en un país con estrés hídrico como es el caso de Chile. Por lo cual, es necesario examinar al sujeto de estudio al contar con diversas perspectivas, tanto de especialistas en el área de medio ambiente y recursos naturales, e hidrógeno verde, que puedan otorgar argumentos fundamentados a través de sus investigaciones o experiencia a partir de una visión profesional, así como también de las personas que serán afectadas directamente por uno de estos proyectos, de esta manera se puede obtener información sobre la sensibilidad de la comunidad local, su nivel de adaptación, los posibles efectos que ellos consideran, e incluso su nivel de educación en el área.

Para la realización de las entrevistas, el tipo de muestreo será no probabilístico por conveniencia, dado que la investigación es exploratoria - descriptiva, por ende, no existe una alta accesibilidad que facilite la selección de personas, de esta manera se pueden escoger a las más relevantes para el estudio. La presente investigación es en su mayor medida exploratoria, con relación a examinar los posibles efectos económicos y sociales del hidrógeno verde, así como para evaluar los sectores con mayor potencial de implementación de H2V, por otra parte, se presenta un área descriptiva al definir los niveles de estrés hídrico en el país, y el uso de tecnologías para disminuir el consumo de agua dulce. De esta manera se logrará determinar la factibilidad de la implementación del H2V, a través de un análisis de posibles amenazas y oportunidades.

Esta investigación es exploratoria, ya que, es una temática emergente que si bien ha sido abordada a nivel global, a la fecha no existe algún estudio que se centre en el desarrollo del hidrógeno verde, en Quintero, un sector con estrés hídrico, a partir de esto se buscará examinar factores sociales, económicos, e incluso culturales para el desarrollo de esta nueva fuente de energía, ya que, son aspectos fundamentales a la hora de generar un gran cambio como lo es la incorporación del H2V en Chile, ya que, si bien se proyectan cambios económicos favorables a través del aumento de las exportaciones y abastecimiento interno, las variables sociales son sumamente importantes para liderar el cambio y no generar resistencia al cambio.

Por otra parte, es importante destacar que esta investigación será de carácter mixta, en donde se obtendrán resultados a partir de la recolección de datos cuantitativos, a través de sitios webs como el del Banco Mundial, International Ptx Hub, Ministerio de Energía de Chile, Naciones Unidas en Chile, entre otros, para el análisis de gráficos y proyecciones con el fin de poder realizar un análisis comparativo, en base a la triangulación de métodos de recolección de datos

Los datos cualitativos se obtendrán a partir de dos tipos de entrevistas semiestructuradas, las cuales constan de 5 preguntas, estas serán dirigidas tanto a la comunidad local de Quintero, como a diversos especialistas del área del medio ambiente e hidrógeno verde, las cuales serán grabadas con el consentimiento de los entrevistados y transcritas para su posterior análisis, en el cual se buscarán aspectos e información relevante para la investigación, que logre respaldar, definir, complementar o refutar los resultados cuantitativos, evaluando la visión de los

especialistas con respecto a ello, dentro de esta misma línea se examinará la mirada de los residentes de Quintero, con el fin de identificar su conocimiento al respecto, expectativas de esta nueva fuente de energía, inseguridades asociadas e incluso su opinión en cuanto a la utilización de nuevas herramientas para la disminución de uso de agua dulce, en la producción de hidrógeno verde, además a partir de ellas se realizará una nube de palabras para identificar las más frecuentes.

7. APLICACIÓN METODOLÓGICA

En virtud de la propuesta metodológica anteriormente mencionada, se elabora la triangulación de los métodos mixtos y la bibliografía obtenida, con ello se espera validar los diferentes aspectos y resultados obtenidos en la fase cuantitativa, con respecto a los datos adquiridos en la parte cualitativa, es decir, en la aplicación de las entrevistas a diversos especialistas y residentes de la localidad de Quintero, además de contrastarlos también con la información bibliográfica encontrada.

Para la obtención de datos cuantitativos se utilizaron sitios webs como el del Banco Mundial, International Ptx Hub, Ministerio de Energía de Chile, Naciones Unidas en Chile, entre otros, para el análisis de gráficos y proyecciones orientadas a los objetivos específicos de la investigación, con el fin de poder realizar un análisis comparativo, en base a la triangulación de los 3 métodos de recopilación de datos.

En cuanto a la recolección de información cualitativa, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas de 5 preguntas a diversos especialistas del sector ambiental y del área del hidrógeno, ya que, de esta manera se puede conseguir la

información necesaria para desarrollar la investigación, pero además se pueden incluir otras ideas o aspectos adicionales importantes. Para la selección de estos, se contactó por conveniencia a personas que presenten un perfil acorde a la investigación, es decir, que tengan un cargo relacionado con la temática o que sean actores claves, que participen dentro del área ambiental y sean capaces de influir en este tipo de proyectos, ya sea, por sus habilidades o conocimiento al respecto. Con ello, se busca evaluar su visión profesional con respecto a los objetivos específicos de la presente investigación, de esta manera, se abordan aspectos fundamentales para examinar a profundidad dicha materia.

Con la entrevista dirigida a especialistas, se busca conocer su visión sobre la actual disponibilidad de agua y los potenciales problemas con la gestión de este recurso en el país, ya que, además de identificar si existe la cantidad de agua necesaria para la producción de hidrógeno verde (H2V) en Chile, también es importante destacar los aspectos que provocan una baja disponibilidad de este recurso, con el fin de definir las causas y así sus respectivas medidas de mitigación.

Por otra parte, se busca evaluar los sectores productivos con mayor potencial, para la implementación del H2V, de esta manera se pueden proyectar los posibles aspectos favorables que se obtendrán en la sociedad, así mismo, se examinaron los posibles beneficios económicos que pueden surgir con el desarrollo de dicha innovación, así como también los posibles desafíos sociales que pueden surgir en el desarrollo de estos proyectos, ambos aspectos son sumamente importante, ya que, el primero otorga la información necesaria para la proyección de resultados,

reconocer oportunidades emergentes, anticipación de riesgos, y el análisis del mercado para la toma de decisiones estratégicas, sin embargo, al ser un proyecto innovador en donde su desarrollo influye en la sociedad e interactúa con el medio ambiente, es necesaria una evaluación social, por ello se buscó analizar los principales desafíos sociales que pueden surgir, para anticiparse a las inquietudes de la comunidad y generar medidas de mitigación o compensación que fomenten un eficiente desarrollo y de esta manera liderar el cambio a través del diagnóstico del medio, para la anticipación de resultados, evitando así la resistencia al cambio y generando una adecuada y paulatina adaptación.

También se investigó sobre la utilización de aguas no convencionales, como aguas residuales y desalinizadas para la producción de H₂V, así como también la recomendación de otro tipo de tecnologías o procesos, para que de esta manera se pueda definir la opción más favorable, evitando así la utilización directa de agua dulce proveniente de fuentes naturales. Por último, se abordaron los aspectos principales para una transición energética efectiva, como la escasez hídrica, la infraestructura adecuada o la implementación de políticas públicas, con el fin de identificar los factores más importantes para fomentar la producción del H₂V y su uso sostenible.

Por otra parte, el segundo tipo de entrevista semiestructurada dirigida a la comunidad local busca evaluar el nivel de conocimiento que se tiene al respecto, identificando además sus preocupaciones o los aspectos positivos que consideran sobre esta tecnología, también se profundiza en su visión sobre el nivel de escasez hídrica de la localidad. En relación con el nivel de participación ciudadana dentro

de estos proyectos, se aborda la temática de si han existido oportunidades de colaboración o instancias de consultas sobre el desarrollo del H2V en Quintero, de esta manera se busca examinar el tipo de relación o información existente para la comunidad, de igual forma se consulta sobre los canales de comunicación que se consideran más adecuados para mantener a la comunidad informada sobre el avance del proyecto.

Por último, además de investigar si se cree que el proyecto mejorará la calidad de vida de los residentes de Quintero, a través del incremento del empleo o el impacto ambiental, se examinó la orientación de las personas con respecto a la utilización de aguas residuales y la desalinización, como herramientas para la producción de H2V, así como también para su implementación en algunas áreas domésticas, como la descarga de inodoro, riego, limpieza de vehículos, entre otros, con ello se busca evaluar la posibilidad futura de utilizar este tipo de aguas, para un reciclaje de estas y fomentar incluso las economías circulares en el país, como se lleva a cabo en otros países del mundo.

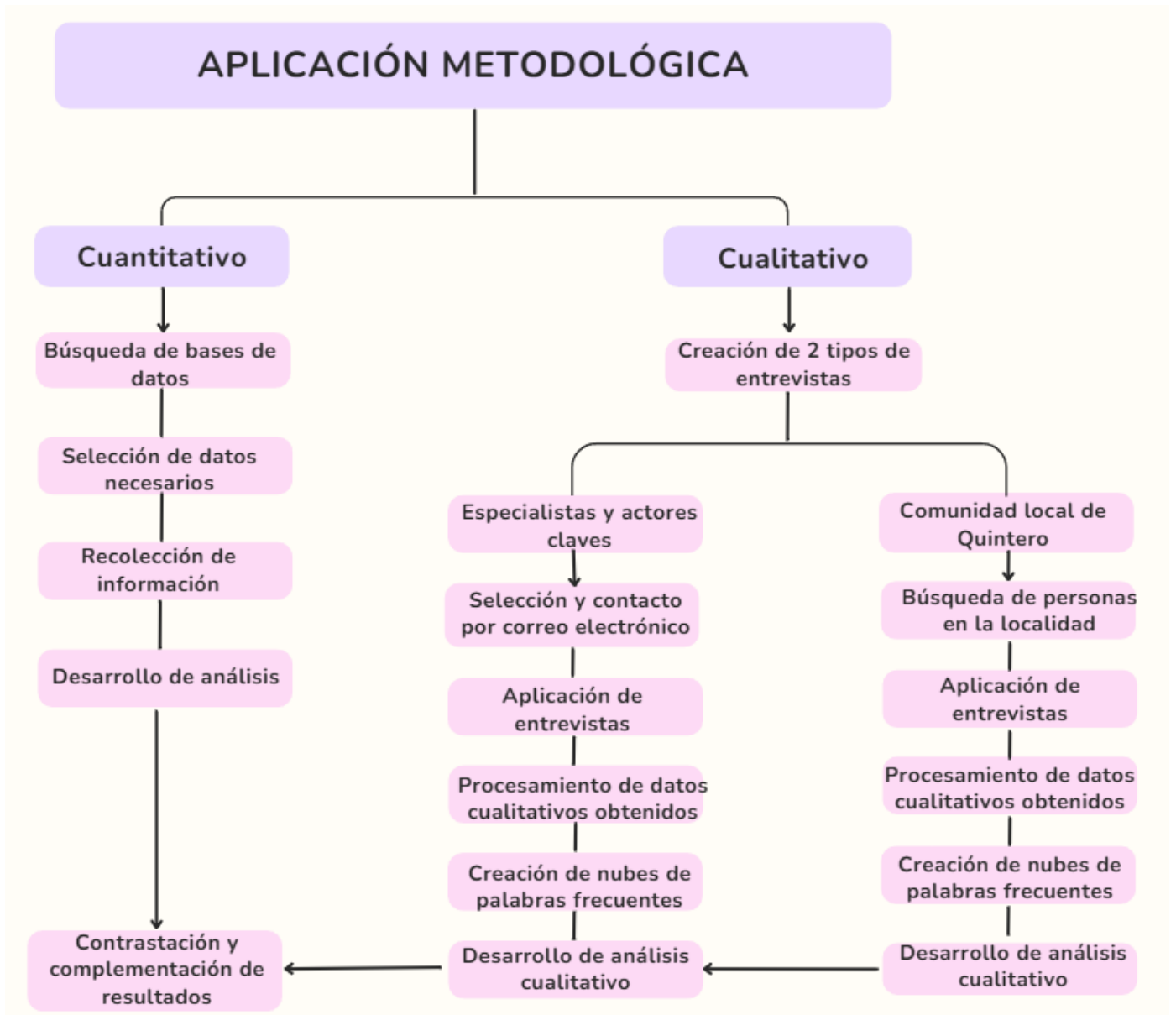
La tabla de entrevistados se muestra a continuación:

	Nombre	Cargo	Contacto
1	Carlos Alvear	Investigador y coordinador del H2V en el centro de energía de la Universidad de Chile	El contacto se realizó a través de Teams.

2	José Andrade	Geólogo y Mg. en Gestión Ambiental en SECPLAN de la Ilustre Municipalidad de Quintero	El contacto se realizó a través de Teams.
3	Karen Arriaza	Representante de la organización medio ambiental “Gemma”, con diplomado ambiental en la Universidad de Chile	El contacto se realizó de manera presencial
4	Cesar Pastén	Integrante del movimiento por la defensa del agua, la Tierra y el medio ambiente (MODATIMA)	El contacto se realizó a través de Teams.
5	Nicolas Morales	Geólogo y gestor ambiental	El contacto se realizó de manera presencial
6	José Fuster	Ejecutivo del H2V en el Comité de Desarrollo de la Industria de H2V - CORFO	El contacto se realizó a través de Teams.

7	Sebastián Curinao	Subgerente de Desarrollo, GNL Quintero S.A.	El contacto se realizó a través de Teams.
8	Catalina Huerta	Coordinadora del movimiento por la defensa del agua, la Tierra y el medio ambiente (MODATIMA)	El contacto se realizó a través de WhatsApp.
9	Juan Pablo Pallamar	Asesor de gabinete, Ministerio de Medio Ambiente, Gobierno de Chile	El contacto se realizó a través de Teams.
10	Daniel Tello Gallo	Residente de Quintero e integrante de Fundación Ritoque	El contacto se realizó a través de Instagram.
11	Verónica Torres	Residente de Quintero	El contacto se realizó de manera presencial
12	Waldo Contreras	Residente de Quintero	El contacto se realizó de manera presencial
13	Lisett Arenas	Residente de Quintero	El contacto se realizó de manera presencial
14	Genesis Lista Brito	Residente de Quintero	El contacto se realizó de manera presencial

Esquema de aplicación metodológica.

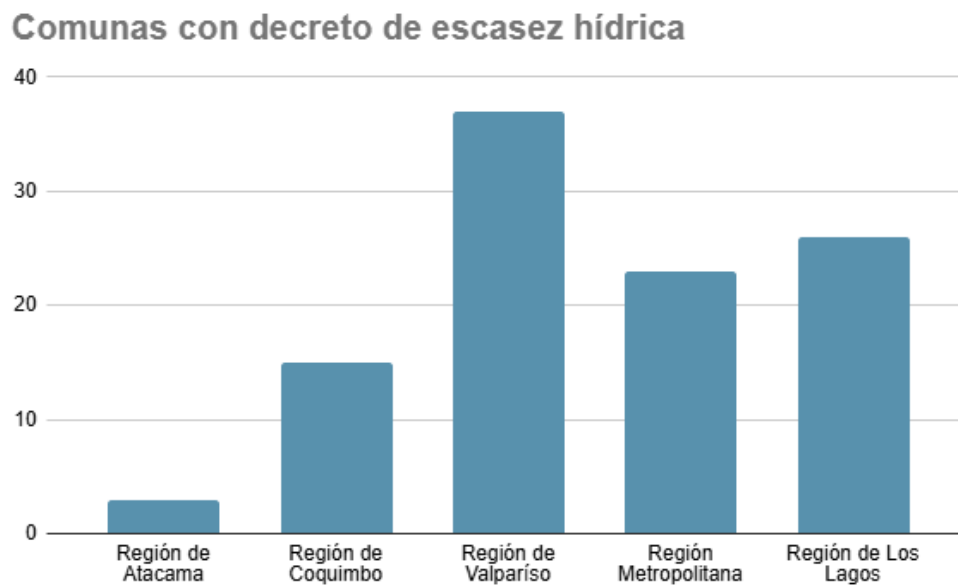


Fuente: Elaboración propia

8. RESULTADOS

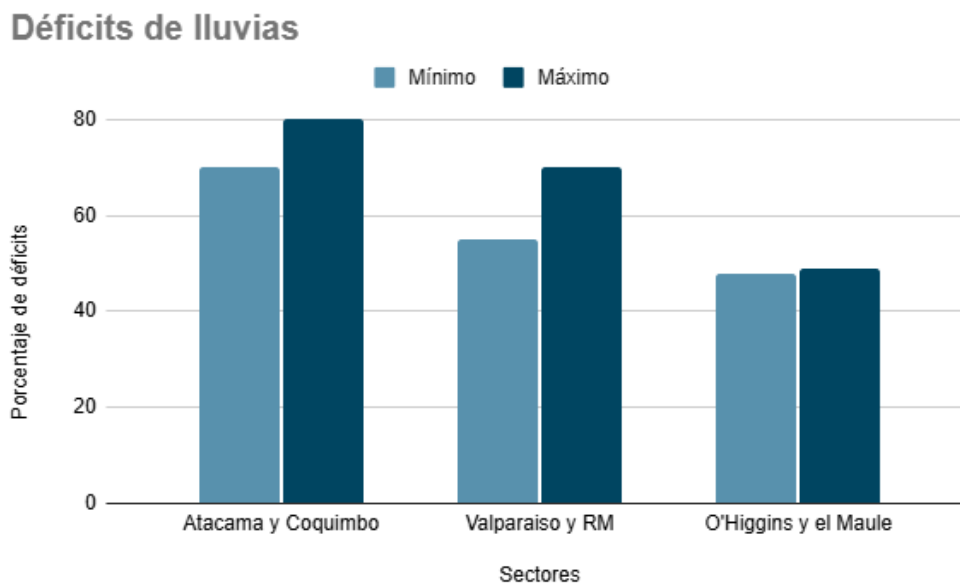
El presente análisis de resultados, con respecto a los datos cuantitativos entregará información valiosa, relacionada a los objetivos específicos, con el fin de afirmar o refutar la hipótesis, así como también abordar el objetivo general de la investigación, determinando si es factible la transición energética en Chile, un país con estrés hídrico. Por ello, primeramente, se abordará el análisis del recurso hídrico, con el fin de identificar si existe efectivamente un nivel adecuado de agua para satisfacer la demanda de este recurso, que aumentaría con la implementación del hidrógeno verde (H2V).

En base al estudio cuantitativo, sobre el estrés hídrico del país, se reconoce que “al mes de julio del 2021, son 104 comunas (30%) las que se encuentra bajo escasez hídrica” (DGA, 2021), dichas comunas se ubican en distintas regiones como se puede apreciar a continuación:



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de DGA, 2021.

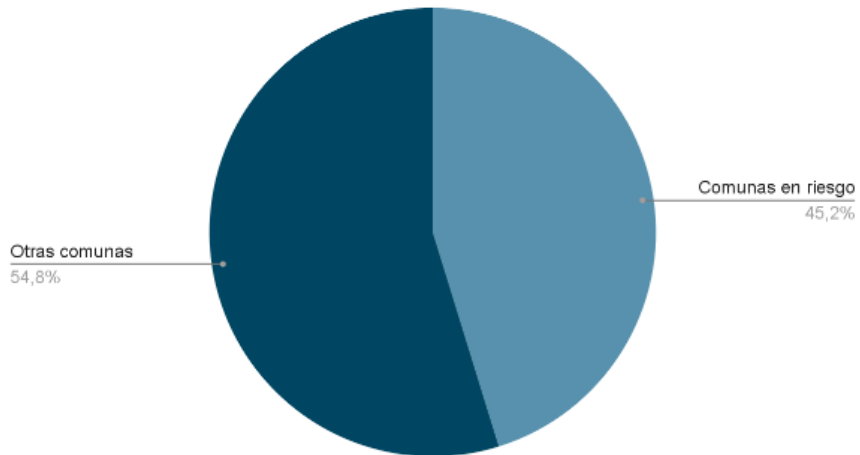
Se observa que existe una mayor concentración de comunas con decreto de escasez hídrica en la región de Valparaíso, incluyendo el sector de Quintero. De la misma manera se analizan rangos de variación de déficits presentes en los sectores, de Atacama y Coquimbo, Valparaíso y RM, y O'Higgins y el Maule.



Fuente: Elaboración propia, a partir de datos del Diario Financiero, 2021.

A partir de aquello se puede apreciar que existen altos porcentajes de déficits en dichos sectores, incluyendo la zona en donde se encuentra el sujeto de estudio, es decir, en la región de Valparaíso, además, se puede identificar que, según un estudio de la ONU, Chile es el país más afectado de América Latina por la crisis del agua, en donde se presenta un alto porcentaje de territorios afectados. “En este sentido, el análisis muestra que el 72% de la superficie de nuestro país sufre de sequía en algún grado” (Diario sustentable, Santiago, 2023), junto con ello se reconoce que algunas comunas del país ya están en riesgo de desertificación, amenaza que podría afectar al 38% de la población.

Comunas en riesgo de desertificación

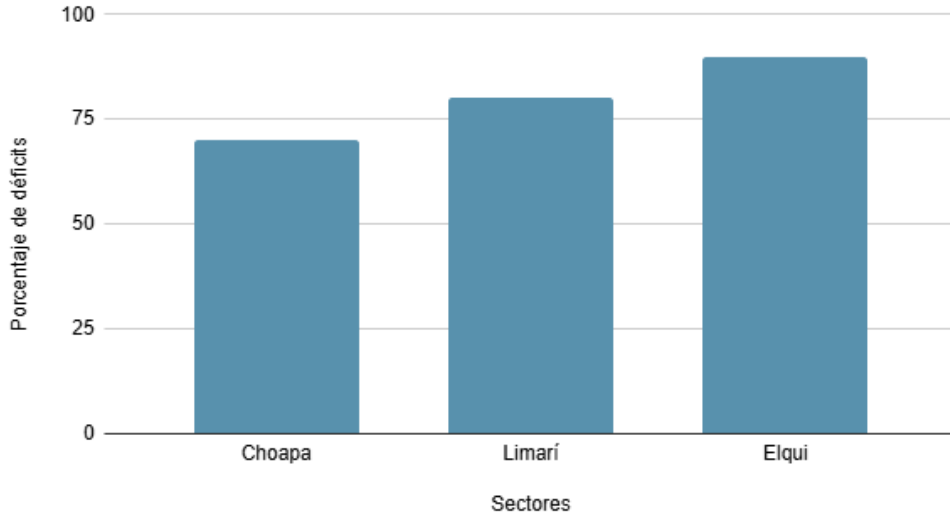


Fuente: Elaboración propia en base a datos de la ONU, La tercera, 2024.

El 45% de las comunas de Chile, están en riesgo de desertificación, lo cual significa que se degradará la vegetación del lugar y sus respectivos ecosistemas, cambiando su tierra fértil por árida, es decir, perderán la biodiversidad de sus sectores, lo cual afecta directamente el medio ambiente, pero también a la sociedad y la economía del sector, ya sea, porque existen actividades agrícolas, turismo, comercio, entre otras cosas.

Al año 2023 el fenómeno de “el Niño trajo más sistemas frontales que lograron alcanzar con fuerza y con alta precipitación la zona de Santiago y la parte norte de la Región de Valparaíso” (CR2, 2023), sin embargo, en las provincias de la región de Coquimbo se presentan aún grandes déficits.

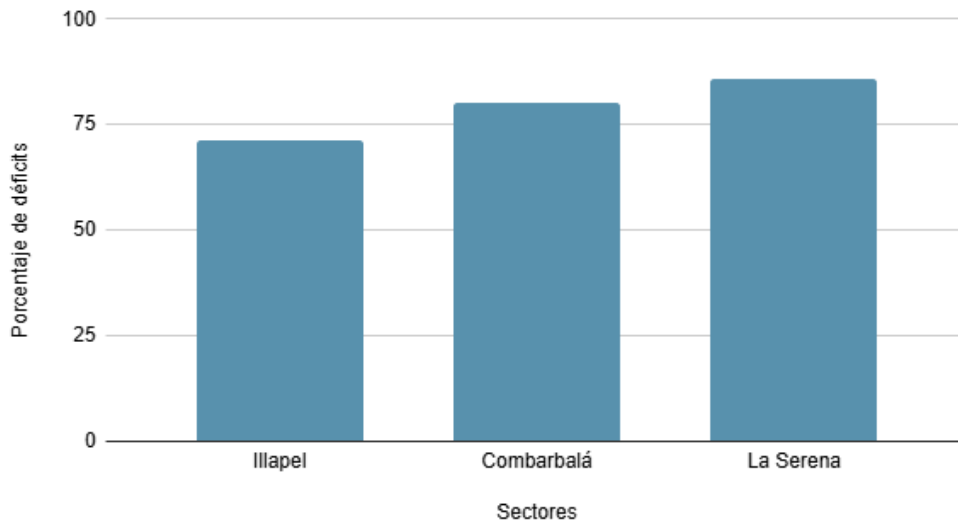
Déficits de llluvias



Fuente: Elaboración propia, en base a datos de CR2, 2023

Asimismo, según CR2 (2023) "el reporte de la empresa sanitaria Aguas del Valle confirmó la crítica situación que se vive en la región", entregando otros datos del déficit de precipitaciones, en sectores específicos de las respectivas provincias mencionadas anteriormente:

Déficit de llluvias

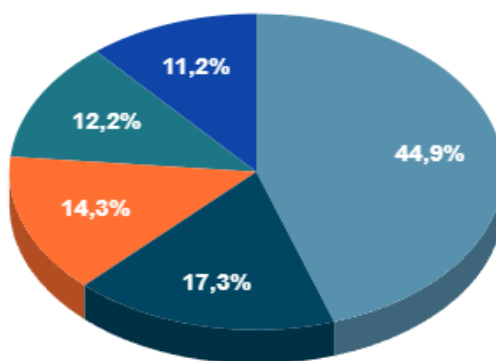


Fuente: Elaboración propia, en base a datos de CR2, 2023.

“La mayoría de las cuencas entre las regiones de Coquimbo y del Maule han experimentado niveles altos a extremos de estrés hídrico durante la década de 2010-2020” (CR2, Chile, 2023). En la misma línea, según el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) “se espera que para el 2040 parte de Chile podría quedarse sin agua potable. ¿Cuáles son las principales regiones bajo este riesgo? Coquimbo, Valparaíso y la Región Metropolitana” (La tercera, 2024). Es sumamente importante abordar efectivamente este gran desafío a nivel nacional, ya que, este es un bien indispensable para el desarrollo social y económico del país, es necesario generar y fomentar diversas medidas que se apliquen desde el área doméstica, hasta la industria misma, ya que, si bien estos problemas se suelen asociar a los cambios climáticos provocados por el calentamiento global, por lo cual se están generando diferentes acciones para minimizar las emisiones de carbono, existen otras variables que se deben considerar, debido a que estas son las que representan un mayor problema en cuanto a la disponibilidad hídrica.

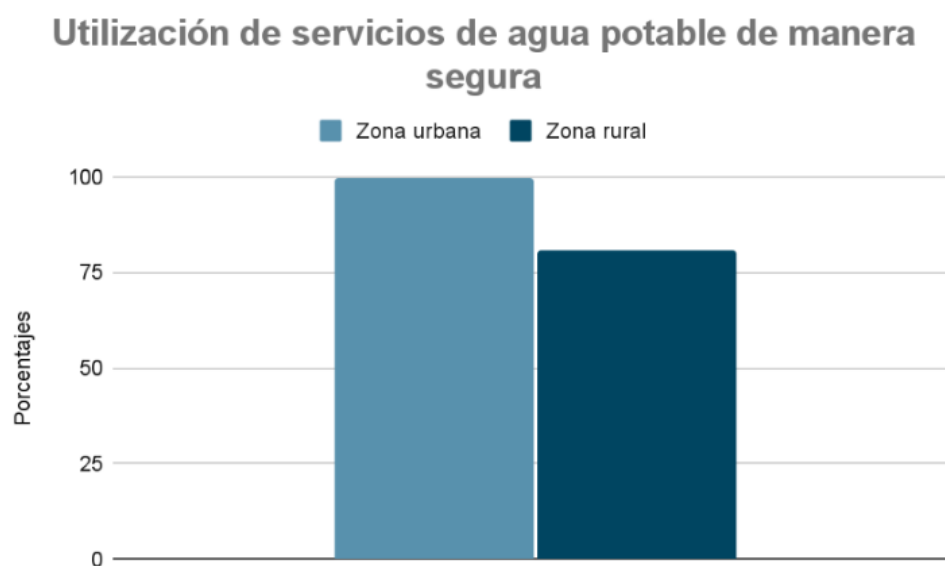
Principales problemas vinculados al recurso hídrico

- Fallas en la gestión del agua y su gobernanza
- Crecimiento de actividades productivas y DAA
- Contaminación del agua por la agroindustria.
- Causas naturales
- Otros



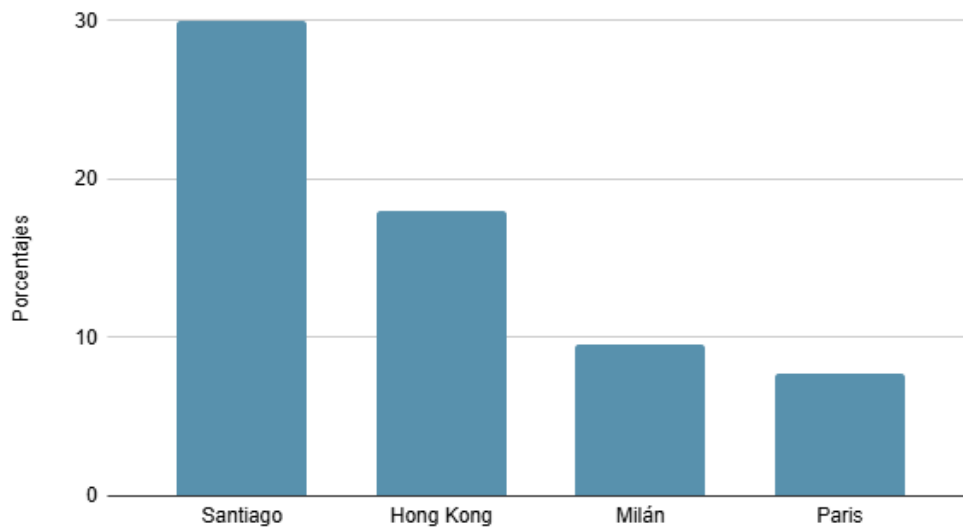
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de U. de Chile, 2024

Estos son aspectos fundamentales a la hora de abordar la disponibilidad de agua en el país, así como también la infraestructura o calidad del recurso hídrico, ya que, existen distintos escenarios si se analiza el sector urbano y rural, debido a que en los sectores alejados a la ciudad se observan tuberías viejas e incluso con fugas, “en particular, los sistemas de Agua Potable Rural (APR) no logran garantizar los estándares de calidad y cantidad de agua debido a una gestión técnica y administrativa, mantenimiento y financiamiento limitados” (SNU, Chile, 2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SNU, Chile, 2021 (CASEN, 2017).

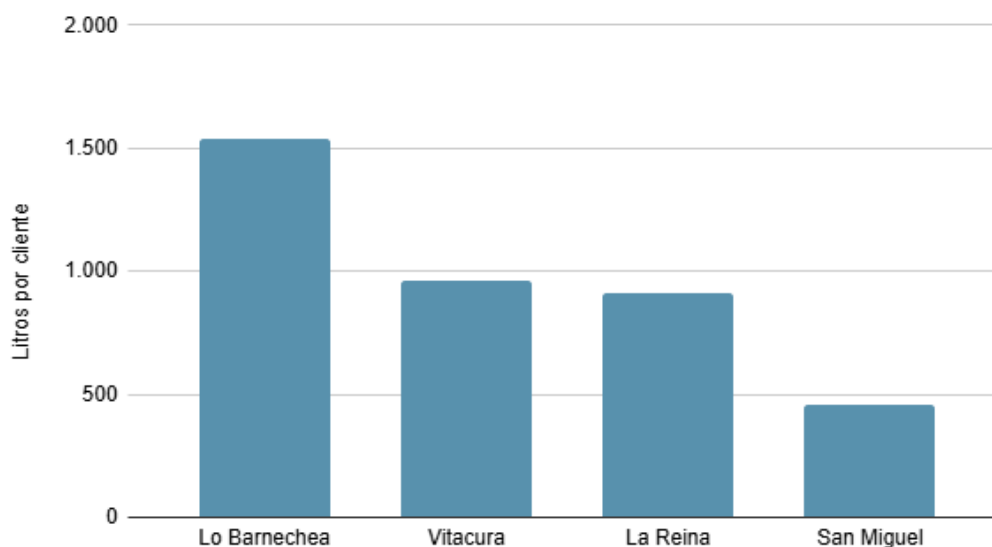
Pérdidas de agua



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SNU, Chile, 2021 (OCDE, 2018)

Por otra parte, se identifica el nivel de pérdidas de agua de la capital del país, en comparación con otras ciudades del mundo. Además del reforzamiento de la infraestructura presente en el país, para asegurar una buena calidad y minimizar las pérdidas de este recurso, es importante analizar los sectores o días del año que presentan un mayor consumo de agua potable, en donde se debe concientizar a la comunidad para que de esta manera se pueda fomentar un consumo responsable, ya que, por ejemplo Las Condes, Vitacura y Lo Barnechea “son las que más agua consumen en Chile, superando la media mundial por cuatro o cinco veces” (U. de Chile, 2022)

Consumo de agua por cliente



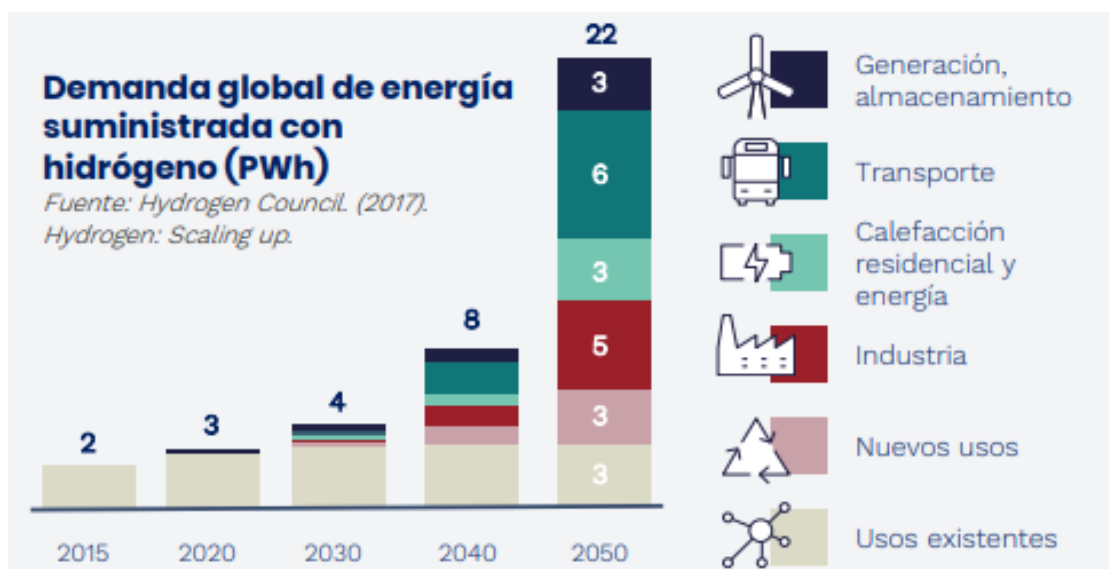
Fuente: Elaboración propia en base a datos de la U. de Chile, 2022.

Por otra parte, “durante las fiestas de fin de año, el consumo de agua potable aumenta exponencialmente, y en medio de una de las situaciones hídricas más complejas de nuestra historia, el llamado es a cuidarla”, adelantó la presidenta ejecutiva de Andess, Lorena Schmitt. En específico, diciembre es el mes que históricamente registra el mayor consumo de agua potable en el año” (La Tercera, 2023), ya que, por ejemplo en las festividades de fin de año, en navidad el consumo de agua potable sube un 25%, por otra parte, en año nuevo se incrementa en un 30% con respecto a un día normal.

Por otra parte, la creciente demanda global por energías limpias y la necesidad de generar estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero han puesto al hidrógeno verde en el centro del debate energético mundial. Chile, presenta un gran potencial en energías renovables, por lo cual, se encuentra en una posición privilegiada para liderar la transición hacia una economía baja en carbono, en donde, el hidrógeno verde, se perfila como un vector energético clave

para descarbonizar múltiples sectores de la economía, además es importante considerar que actualmente existen financiamientos verdes, beneficios tributarios para zonas extremas del país y disminución proyectada de los costos de electrólisis y energía renovable, los cuales son factores que impulsarán aún más, el mercado del H2V.

En este contexto, se identificarán los sectores productivos chilenos que podrían beneficiarse de manera más significativa con la adopción de esta tecnología, ya que, el H2V es una innovación con un gran potencial, debido a su versatilidad en el mercado, logrando implementarse en diferentes sectores a nivel global como se muestra a continuación:



Fuente: Ministerio de Energía, Chile, 2020.

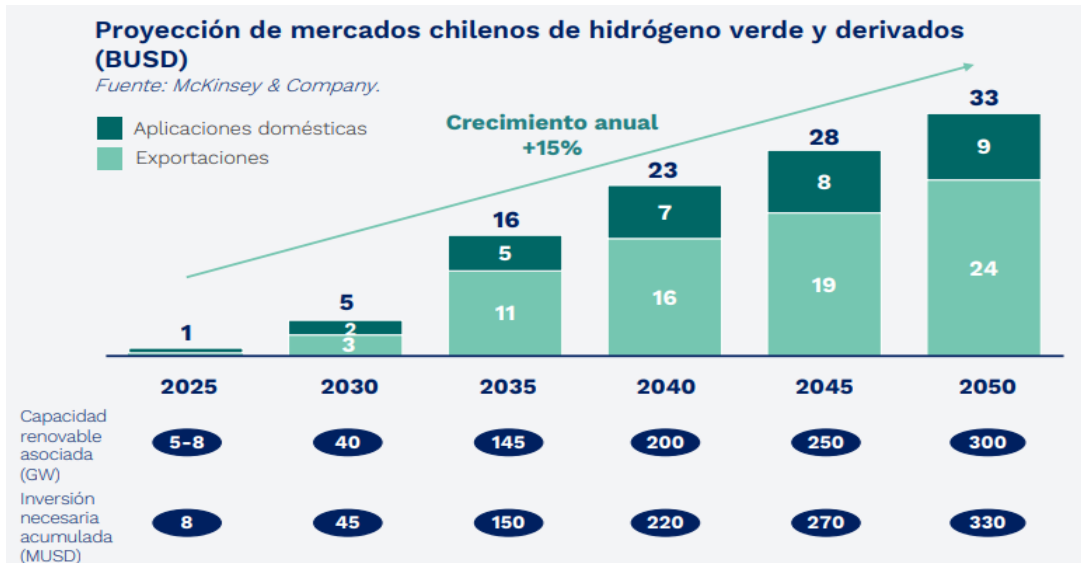
A nivel global, se demanda una mayor cantidad de hidrógeno principalmente en el área del transporte, seguido por el consumo industrial. El hidrógeno tiene el potencial de generar energía limpia y eficiente, por ello muchos han apostado por

la pila de hidrógeno para la movilidad sostenible, además este gas se utiliza en el área terrestre a través de camiones, transporte público, trenes e incluso barcos, en cuanto a la industria, este se puede utilizar para refinar petróleo o producir amoníaco para fertilizantes u otros productos, el hidrógeno también tiene potencial en áreas como la electricidad, en base a luz, calefacción e incluso como generadores para diferentes establecimientos.



Fuente: Ministerio de Energía, Chile, 2020.

Como se puede apreciar, existen diversas áreas con gran potencial para la implementación del hidrógeno verde, y si bien se planifica una implementación interna en el país, se identifica otro sector en donde se proyecta principalmente el mercado chileno, las exportaciones.



Fuente: Ministerio de Energía, Chile, 2020.

De esta manera se puede evidenciar un mayor enfoque en el sector de las exportaciones, en comparación a las aplicaciones domésticas del país, siendo el principal sector productivo que podría beneficiarse significativamente con la implementación del hidrógeno verde, en este ámbito el gobierno ya genera proyecciones de demanda de algunos sectores del mundo, en donde se planifican contratos a largo plazo para reducir los riesgos y así capturar una cuota de mercado adecuada.

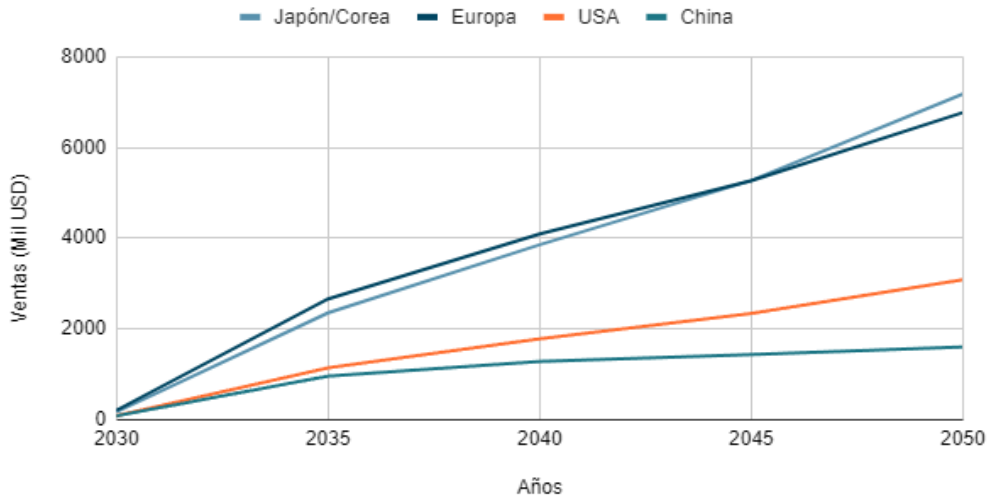


Fuente: Ministerio de Energía, Chile, 2020.

Por último, la utilización del hidrógeno verde producido en Quintero se utilizará para abastecer la demanda local de este producto, en donde, empresas de la región de Valparaíso “entre ellas, Enx, Melón, Terminal Pacífico Sur (TPS) y Puerto Ventanas firmaron cada una un Acuerdo de Entendimiento (MOU) a través del cual oficializan su interés de recibir hidrógeno producido por el futuro proyecto Hidrógeno Verde Bahía Quintero (HVBQ)” (Diario Financiero, 2021)

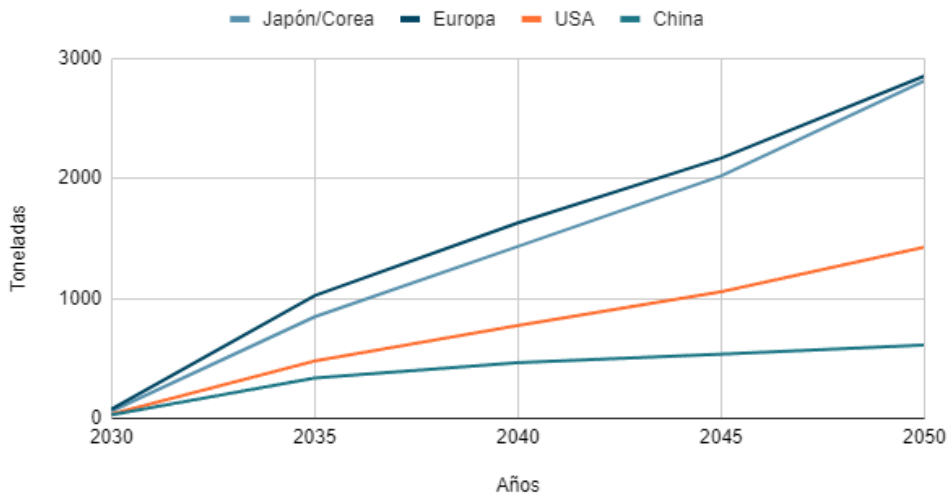
Debido a ello, se puede determinar que el impacto económico que causará el hidrógeno verde en Chile será significativamente positivo, ya que, se logra identificar un incremento exponencial, tanto de las ventas en USD de H2V, como en el nivel de exportaciones en toneladas:

Ventas de Chile de hidrógeno verde (USD)



Fuente: Elaboración propia a partir del Banco Mundial.

Exportaciones de H2V de Chile



Fuente: Elaboración propia a partir del Banco Mundial.

Además, según un estudio del Banco Mundial, se puede identificar cuatro instrumentos económicos para potenciar el mercado chileno del hidrógeno verde: aumento del impuesto específico a los combustibles de transporte, como gasolina y diésel; ampliación en cobertura sectorial del impuesto a las emisiones de gases

de efecto invernadero; desarrollo de sistemas de permisos de emisión transables (SPET) e implementación de mecanismos de compensación, y se concluye que “la implementación de los instrumentos económicos mencionados puede impulsar la economía del hidrógeno verde en Chile, lo que tendría un impacto positivo en el PIB del país, con un incremento del 4%, y en la creación de 50.000 empleos” (Banco Mundial, 2023).

Lo anterior se puede contrastar con el pronóstico indicado por el Ministerio de Energía en donde se proyecta, durante las próximas décadas, la creación de al menos 100.000 nuevos empleos, más satisfactorios y sofisticados, lo cual impacta positivamente en la economía del país como ya se mencionó, pero también se genera un mayor desarrollo social en Chile, a través de un mayor valor nacional, así mismo se establece una participación, comunicación y capacitación temprana y continua, en relación a las comunidades cercanas al proyecto, e incluso se considera establecer relaciones locales como “fomentar desarrollo de proveedores locales, capacidades y mejores prácticas en gestión de los intereses territoriales y comunitarios” (Ministerio de Energía, Chile, 2020).

Los posibles desafíos sociales que puedan surgir se definen como la “percepción de aumento de externalidades negativas por incorporación de un nuevo Proyecto en la zona industrial de la Bahía Quintero-Puchuncaví” (SGA, 2023), a partir de aquello se elabora la siguiente medida

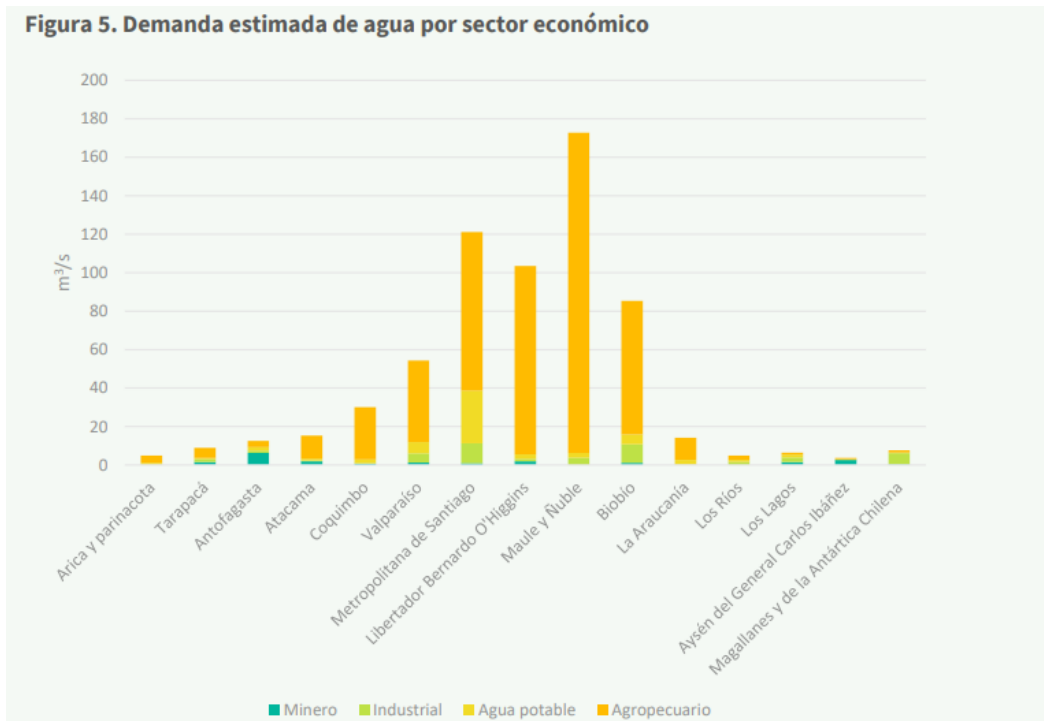
“potenciar el sentimiento de arraigo en los habitantes por medio programas que promuevan la recuperación de la identidad de la zona,

a través del diálogo y la colaboración conjunta, de manera de contribuir al desarrollo de las localidades de Loncura y La Greda.” (SGA, 2023).

Por otra parte, en cuanto a los beneficios de este proyecto, se busca generar un ecosistema más limpio y sustentable alrededor de este combustible para descarbonizar sectores productivos, generando empleo y potenciando el desarrollo local, además, si bien se generará una gran inversión inicial cercana a los 40 millones de dólares, esto se recuperará a largo plazo, considerando también que este proyecto ya ha generado acuerdos de abastecimiento por más del 70% de su producción inicial, lo cual disminuye los riesgos y asegura una adecuada cuota de mercado. En la misma línea, el Gobierno de Chile ya adjudicó un presupuesto para estos proyectos, en donde, “seis son las iniciativas seleccionadas que recibirán parte del financiamiento de US\$50 millones disponibles para la convocatoria, y estarán emplazadas en las regiones de Antofagasta, Valparaíso, Biobío y Magallanes” (Ministerio de Energía, Chile, 2021), en ello según las características y evaluación del proyecto “ a “Hidrógeno Verde Bahía Quintero” se le otorgará US\$5.727.099” (Corporación de Fomento de la Producción, 2021)

Además, “estos proyectos esperan producir más de 45.000 toneladas de hidrógeno verde al año, lo que reducirá más de 600.000 toneladas de CO₂ anuales” (Ministerio de Energía, Chile, 2021). Dentro de ello, se identifica que el proyecto de Quintero “contará con una capacidad instalada de electrolización de 10 MW, con la que se espera producir al año 430 toneladas de hidrógeno verde” (Ministerio de Energía, Chile, 2021).

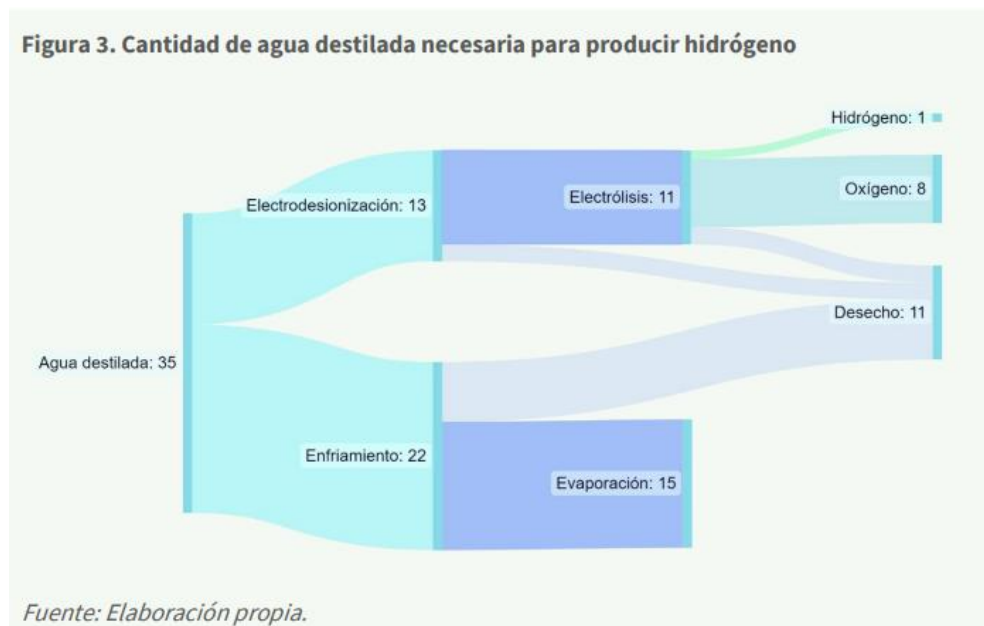
Por otra parte, debido al escenario hídrico del país, es necesario implementar tecnologías adecuadas para minimizar el consumo de agua dulce desde las reservas naturales, por ello es que, se apunta principalmente a la utilización de agua proveniente desde las plantas desalinizadoras del país. Pero antes de definir las mejores prácticas para el uso de agua en la producción de hidrógeno verde, es importante identificar la cantidad hídrica necesaria para su desarrollo, en donde, se define que el consumo “representado por la industria del Hidrógeno Verde y de sus derivados, sería cercano a los 107 millones de metros cúbicos, que representa no más del 15% del consumo proyectado para la minería” (International Ptx Hub, 2023), es decir, que la implementación de esta nueva fuente de energía, no representa una alta demanda de agua, si se analiza con respecto a otros usos actuales como el del área agropecuario y minero, los cuales son los sectores que presentan una mayor demanda a nivel nacional, como se muestra a continuación:



Fuente: International Ptx Hub, 2023.

Luego de identificar que la cantidad de agua necesaria para el H2V no es una cantidad extremadamente alta, si se compara con los otros sectores de demanda hídrica de Chile, es necesario identificar las mejores tecnologías para el uso de agua en la producción de hidrógeno verde, en ello se destaca principalmente las plantas desalinizadoras del país, sin embargo, existe la preocupación sobre la gestión del desecho de salmuera en el medio ambiente. En Chile, si bien no existe una ley específica que regule exclusivamente la gestión de salmuera, su manejo se encuentra enmarcado en diversas normativas ambientales como el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, en donde, todos los proyectos de desalinizadoras, de cierta envergadura, deben someterse a un proceso de evaluación de impacto ambiental, la Ley General de Pesca y Acuicultura para la protección y conservación de los recursos pesqueros y acuícolas, la Ley de Bases Generales del Medio Ambiente, Ley de Costas, entre otros, además se están realizando estudios para evaluar los impactos de la salmuera y desarrollar tecnologías más eficientes para su tratamiento y reutilización, esto es sumamente importante, ya que, el H2V es una energía limpia con el potencial para descarbonizar diversas industrias y por ello sería contraproducente que su producción contamine otro recurso natural importante como lo es el mar, ya que, si bien existe una gran cantidad de este, no es infinito. Una mayor contaminación implica efectos negativos como una disminución de la biodiversidad del planeta, pérdida de recursos pesqueros, impacto en el turismo, entre otros.

La empresa Aguas Pacifico, la cual comenzó la construcción de su primera planta desalinizadora en la bahía de Quintero- Puchuncaví en el año 2022, asegura, que el proceso no incorpora ningún elemento adicional a esa agua que retorna al mar, solo aumenta la concentración de sal y esta será diluida mediante set de difusores, para que en un radio mayor a 6 metros y en un tiempo no mayor a 2 segundos, el mar alcance la salinidad original. Además, también es importante definir específicamente la cantidad de agua necesaria para la producción de 1 kg de hidrógeno verde, como se muestra a continuación:



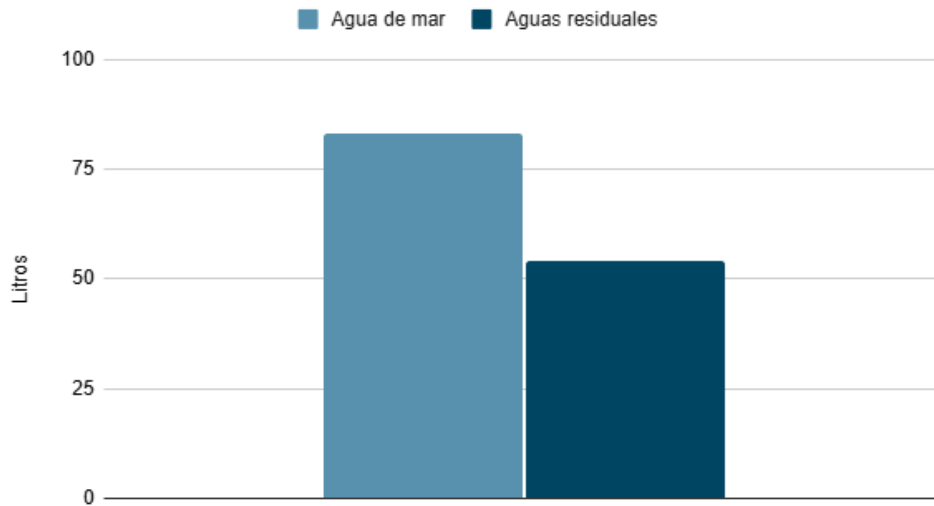
Fuente: International Ptx Hub, 2023.

“Con lo anterior entonces, es posible concluir que para producir 1 kg de H₂ mediante el proceso de electrolización PEM, considerando una eficiencia hídrica del 80% para electrólisis, un sistema de enfriamiento basado en agua y un pretratamiento de electrodesionización que utilice

el EDI y el lecho mixto, serán necesarios 35 litros de agua destilada”
(International Ptx Hub, 2023).

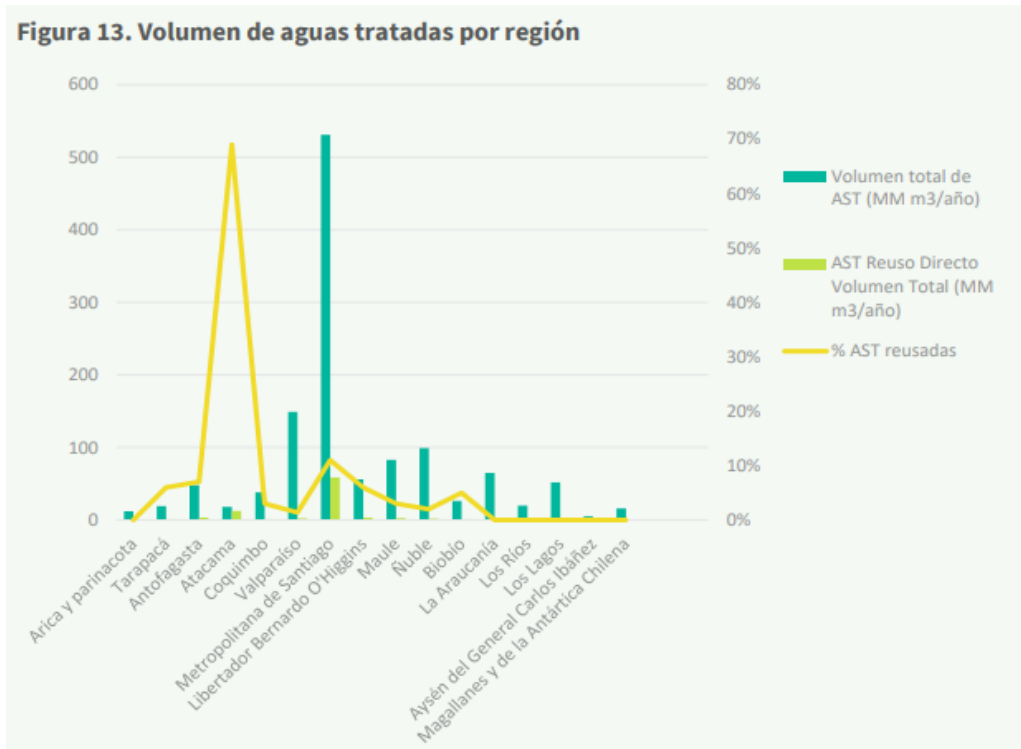
Con esta información, se define la cantidad de agua requerida para producir los 35 litros de agua destilada mencionada anteriormente.

Cantidad de agua necesaria para producir hidrógeno (Kg)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de International Ptx Hub, 2023.

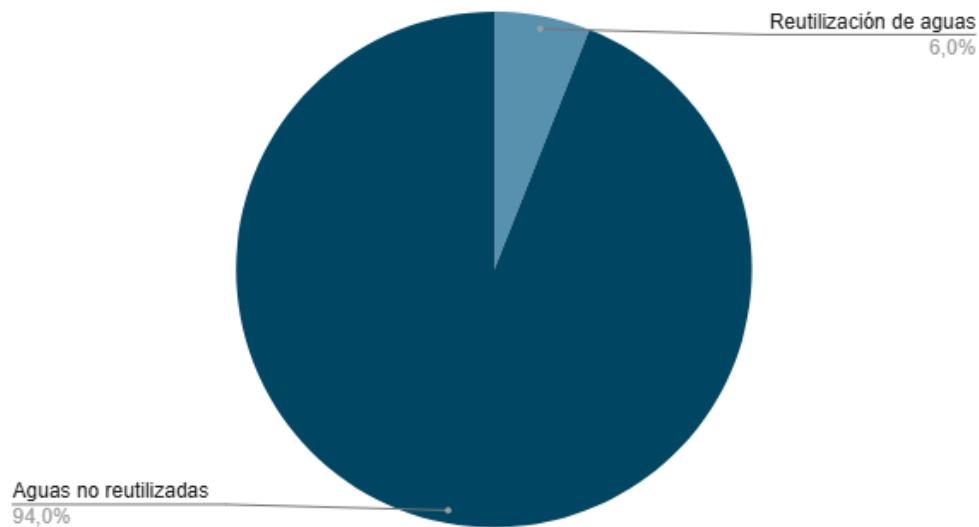
De esta manera, se puede identificar que existe una menor cantidad de agua requerida para la producción de 1 kg de hidrógeno, si se utilizan aguas residuales en el proceso, en vez de agua de mar, así mismo se identifica que “Chile cuenta con un alto grado de tratamiento de aguas residuales, aproximadamente el 99,98% de cobertura urbana, gracias a las 302 Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en operación” (International Ptx Hub, 2023).



Fuente: International Ptx Hub, 2023.

Si bien Valparaíso tiene el segundo mayor volumen de aguas servidas tratadas (AST) a nivel nacional, su reúso directo o porcentaje de reutilización de AST, es uno de los más bajos, de la misma forma la mayoría de las regiones contempla este escenario. Así mismo, se identifica la cantidad de agua servida tratada que es reutilizada a nivel nacional:

Reutilización de aguas residuales tratadas



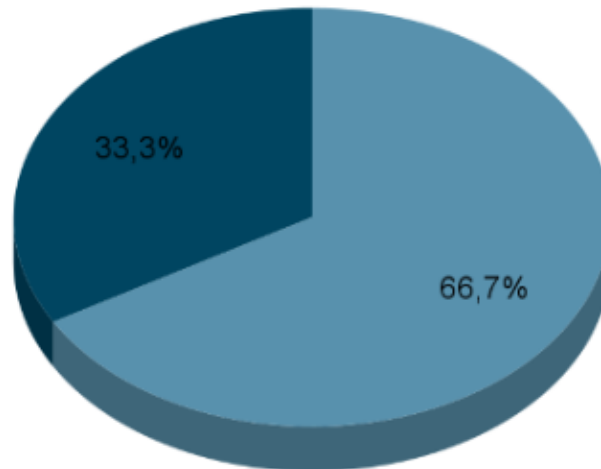
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de International Ptx Hub, 2023.

De esta manera, se puede apreciar que existe un 94% de aguas servidas tratadas que no se están reutilizando, lo cual representa una gran oportunidad para aprovechar, sobre todo en este escenario actual de estrés hídrico, en donde se puede llegar a “suministrar 1.152 millones de metros cúbicos anuales de agua bruta, equivalente a más de 4 veces el volumen del embalse El Yeso” (International Ptx Hub, 2023)

En cuanto al análisis cualitativo, se recolectó información relacionada a los objetivos específicos de la investigación, en donde se observaron diversas ideas, preocupaciones, visiones y recomendaciones. El primer tema que se abordó fue el nivel de estrés hídrico en el país, y las principales barreras existentes para una eficiente gestión de este recurso, en donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Disponibilidad de agua dulce en Chile

● Escasa disponibilidad ● Adecuada disponibilidad



Fuente: Elaboración propia.

El 66,7% de los diversos especialistas entrevistados consideran que efectivamente existe una escasa disponibilidad de agua dulce en el país, por otra parte, el resto considera que debido a las precipitaciones presentes en el último año y la reactivación de las napas freáticas, es decir, la acumulación subterránea de agua a pequeña profundidad, se podría considerar que existe un buen nivel de agua actualmente para el consumo nacional, sin embargo, los otros especialistas y actores claves consideran que a pesar de que este año ha sido más lluvioso que los anteriores, el déficit hídrico todavía está presente en el país siendo un problema “no solamente para la producción de hidrógeno, el tema del agua es uno de los mayores desafíos que ya tiene, pero va a ir creciendo en Chile” (Sebastián Curinao, Subgerente de GNL, 2024), por lo cual todavía siguen existiendo conflictos socioambientales, tanto en el área de la biodiversidad, como el factor

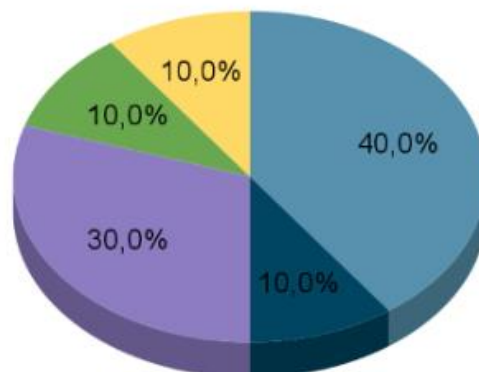
social en cuanto a la disponibilidad de agua potable o las actividades agrícolas de dichas zonas, por ende todavía se buscan alternativas para abastecer la gran demanda de este recurso primario. Así mismo “si queremos implementar esta tecnología debemos tener otras fuentes para poder generar el agua necesaria para la electrólisis, y así producir este hidrógeno verde” (César Pastén, Modatima, 2024), también es importante destacar que

“la parte de agua que se deberá destinar a la producción de hidrógeno es más bien marginal, con respecto a todos los usos industriales, además el consumo de las personas siempre va a ser mucho más importante que alguna fracción que se destine al hidrógeno” (Carlos Alvear, Centro de Energía de la U. de Chile, 2024).

Por otra parte, en cuanto a los aspectos que dificultan una eficiente gestión del recurso hídrico se obtuvieron los siguientes resultados:

Barreras para una eficiente gestión del recurso hídrico

● Regulación ● Infraestructura ● Gestión deficiente ● Escasez del recurso
● Cambio climático



Fuente: Elaboración propia.

A partir de esto, se puede identificar que el 40% de los especialistas consideran que la regulación es una gran barrera para una buena administración de este recurso, en esta área se abordaron los derechos de agua, en donde consideran que estos sobrepasan la cantidad que efectivamente hay disponible, “el 80% de los derechos de agua está acaparado en el 1% de propietarios” (Catalina Huerta, MODATIMA, 2024), por lo cual, es necesario “cambiar fuertemente la regulación, que se entienda que el agua ya dejó de ser un recurso abundante y pasa a ser un recurso más bien escaso, cambiando además la forma en que este se gestiona” (Carlos Alvear, Centro de Energía de la U. de Chile 2024).

Esto va de la mano con la privatización del agua, un tema que ha generado amplios debates principalmente en Chile, ya que, según un estudio del año 2021 de la Universidad Católica “de las 92 constituciones analizadas, Chile es el único país que consagra de manera explícita la propiedad privada sobre los derechos de aprovechamiento de aguas”. La privatización de este recurso hídrico, generado durante el gobierno militar de Augusto Pinochet en los años 80, ha tenido un impacto significativo en la gestión de este recurso vital, generando una serie de desafíos y complejidades que han dificultado su administración, como la desigualdad en el acceso a este recurso, conflictos sociales por el uso de agua, vulnerabilidad ante la crisis climática o la falta de planificación y regulación, ya que, la fragmentación de los derechos de agua y la prioridad otorgada a los intereses privados, han limitado la capacidad del Estado para gestionar el recurso de manera integral y en beneficio de toda la sociedad. Esto se generó a través de una serie de reformas legales y constitucionales, transformando el agua de un bien nacional y de uso público, a una mercancía sujeta a las leyes del mercado, ya que,

efectivamente se generó un mercado de derechos de agua en el que grandes empresas, principalmente agrícolas y mineras, adquirieron derechos de aprovechamiento sobre grandes volúmenes de agua, a menudo a costa de las comunidades locales y de pequeños agricultores.

Por otra parte, en cuanto a la gestión deficiente, se hace referencia a aspectos como la existencia de diversos organismos presentes en la administración del agua, en donde se identifica que “la institucionalidad en torno al agua en Chile está dispersa en una serie de reparticiones públicas que pertenecen a distintos ministerios” (Ciper, 2021)



Fuente: Ciper, 2021.

A partir de aquello, actores claves consideran que esta fragmentación dificulta la coordinación, coherencia y toma de decisiones, lo cual impide una eficiente implementación de estrategias y resolución de conflictos. Además, también se hizo referencia a la gran cantidad de agua que se destina a diferentes industrias como la agricultura, minería o el ganado, contrastado con el suministro hacia las comunidades, en donde es importante destacar que los sectores rurales no

cuentan con la misma cantidad y calidad del recurso hídrico, como en las ciudades, por ejemplo, en donde se genera una mayor inversión destinada a la gestión del agua. En esta misma línea, se identificó una deficiente infraestructura para la administración hídrica, considerando que

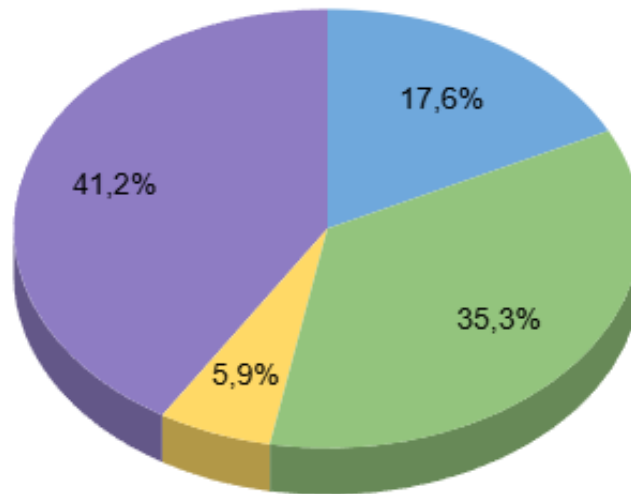
“hay que empezar a invertir ya seriamente en embalses, en canalizar mejor los canales, en taparlos, ya que, es súper difícil planificarse en torno a los canales descubiertos, por ahí hay un problema de la gestión de las aguas continentales, que es mucho más amplio que el mundo de la energía” (Carlos Alvear, Centro de Energía de la U. de Chile, 2024).

Así mismo otros especialistas consideran que la principal barrera es la escasez misma de este recurso, en donde, “lo primero hoy en día, es que el agua tiene que estar disponible para el consumo humano y para la agricultura familiar campesina, eso hay que asegurarlo en su totalidad” (César Pastén, Modatima, 2024).

En cuanto a los principales sectores que podrían beneficiarse significativamente por la adopción del hidrógeno verde en Chile, se obtuvieron los siguientes resultados:

Principales sectores beneficiados

● Exportación ● Transporte ● Sistema eléctrico ● Industria



Fuente: Elaboración propia

Existen diversos sectores con potencial de implementación del hidrógeno verde, entre los cuales se destacaron las exportaciones, el reemplazo de los combustibles fósiles tanto en la industria como en el transporte, en este último se destacó que

“La única solución viable para el transporte de larga distancia y de mucho tonelaje es el hidrógeno, porque las baterías son buenas y sirven para moverte dentro de la ciudad en donde vives, pero si quieres llevar cargas muy lejos, es más difícil que una batería sea rentable”

(Sebastián Curinao, Subgerente de GNL, 2024).

Indicando así que el H2V se implementaría en áreas en donde la electrificación directa no sea rentable, además también se abordó el mismo sistema eléctrico, ya que, actualmente la única reserva energética del país es el embalse de agua, sin embargo, cuando se generan sequías, esta fuente disminuye provocando

incertidumbre, por ello el H₂V representa una posible reserva energética a largo plazo, lo cual significa una potencial independencia energética, ya que, se puede producir mucho hidrógeno en verano para el invierno, para ello actualmente se requiere una gran inversión en la infraestructura necesaria para almacenarlo, sin embargo, existen otras alternativas

“Las mismas minas de carbón que ya no se usan, estas son submarinas lo cual significa que están bien impermeabilizadas, entonces en esas minas podríamos nosotros inyectar el hidrógeno y después volver a reenergizar, minas de cobre que ya estén abandonadas también son una buena alternativa, por ende, habría que estudiar también qué tipo de formaciones geológicas nos ayudan a almacenar hidrógeno en grandes cantidades, o bien lo podemos directamente almacenar en forma de amoníaco y generar tremendas reservas de amoníaco” (Carlos Alvear, Centro de Energía de la U. de Chile 2024)

También se abordó el beneficio de su implementación en la industria, reemplazando la quema de combustibles fósiles, lo cual sería un cambio significativo para el medio ambiente y la sociedad, así mismo

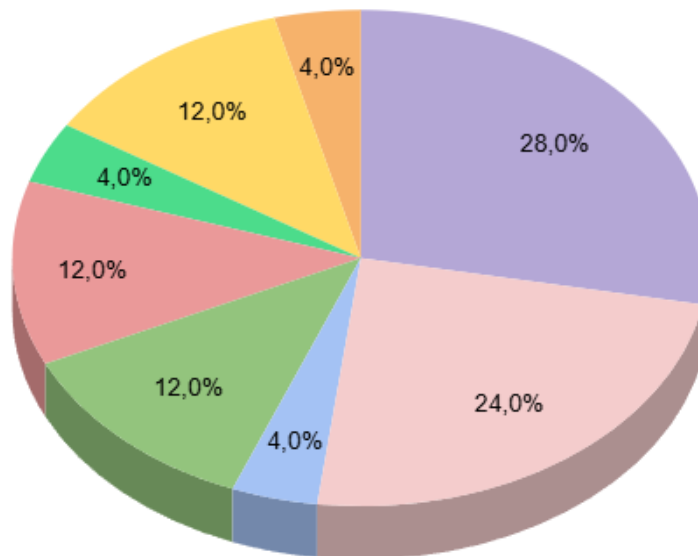
“cuando lo vemos acá en Quintero, que somos un sector en donde estamos declarados zonas saturadas porque tenemos las empresas de carbón, tenemos la empresa de quema de combustible, material particulado, sobre todo más allá de lo que es Codelco, si lográramos reemplazar esta quema, por lo del Hidrógeno verde, podríamos reducir drásticamente los niveles de material particulado y dejar de ser zona

latente” (José Andrade, SECPLAN, Ilustre Municipalidad de Quintero, 2024).

En cuanto a los impactos socioeconómicos de la producción de hidrógeno verde, primeramente, se identifica como se mencionó anteriormente un gran potencial de implementación en diversos sectores productivos y la creación de más de 41 proyectos de hidrógeno verde en Chile, lo cual fomenta la creación de empleos en las respectivas localidades, potenciando la economía del sector. En las entrevistas se abordó este preciso aspecto, en donde se discutió que el H2V se proyecta como una industria tan valiosa como la minería del cobre, aportando la misma cantidad de millones de dólares y de empleo a Chile, sin embargo, existe una probabilidad de que no sea tan impactante como se espera.

Factores que afectan a la sociedad

- Creación de empleos
- Descarbonización
- Polos de desarrollo económicos
- Uso de espacio
- Desinformación
- Desarrollo de capital humano
- Saturación de actividades productivas
- Riesgo de explosión



Fuente: Elaboración propia

Uno de los beneficios sociales es avanzar hacia la descarbonización nacional, lo cual es un aspecto muy importante

“Tanto para nosotros como sociedad, como para el medio ambiente, sobre todo en una zona de sacrificio, en donde, lamentablemente se está deteriorando la salud de las personas, ya que, el nivel de polución que hay ahí es muy alto y la calidad de vida de las personas están siendo afectadas” (Karen Arriaza, GEMA, 2024).

También especialistas esperan que, además de la implementación nacional, se produzca una nueva industria de exportación altamente tecnológica, ya que, las tecnologías asociadas al H₂ son complejas, de esta manera Chile tendría una nueva fuente de ingresos para avalar todos los desafíos proyectados, a partir de esto consideran necesario la capacitación de capital humano y con ello, la creación de nuevos puestos de trabajo. Así mismo, consideran el beneficio de crear polos de desarrollo en las distintas regiones del país y la producción de energéticos limpios, también se está evaluando la posibilidad de ampliar la infraestructura portuaria, en donde se abrirán nuevos puestos de trabajo, junto con esto, está la oportunidad de reparación o mejoramiento de, por ejemplo, carreteras o alguna infraestructura pública que podría beneficiarse de estos proyectos. Además, el Subgerente de GNL Quintero indica que

“Este proyecto es un primer paso para demostrar que el desarrollo industrial no solamente tiene que ser contaminante o tiene que hacerle mal a la sociedad, tú puedes desarrollar industrias, generar trabajo, generar inversión y ayudar al planeta al mismo tiempo, este sería una

industria limpia, una industria de alta tecnología y eso en Quinteros yo siento que es muy beneficioso”.

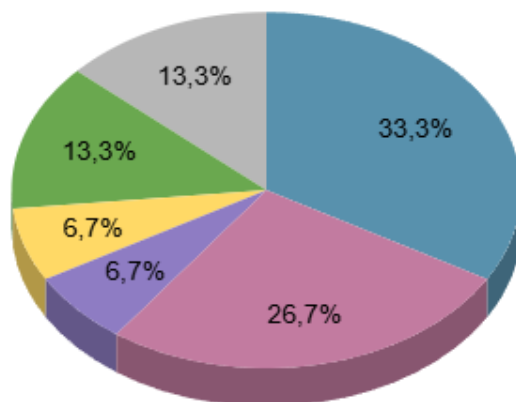
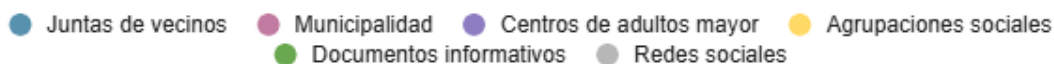
Por otra parte, se identifica la creación de infraestructura como un potencial desafío social, en cuanto al uso de espacio, ya que, es necesario una cantidad de suelo significativa, tanto para la energía solar, como las turbinas eólicas o el mismo espacio de la planta de electrólisis, junto con ello, destacan que se debe informar sobre la respectiva gestión de residuos de estos mismos elementos como paneles solares, con el fin de que exista una comunicación fluida, evitando así los problemas o inseguridades provocadas por una sociedad desinformada. Otro aspecto importante, es que, especialistas consideran que ya existe un gran barrio industrial en Quintero, y por ello, no se debería seguir estresando con nuevas actividades a estos territorios llamados “zonas de sacrificios”, como dicha bahía que ya se encuentra muy saturada, sin embargo, la creación de H2V se ubica en ese lugar “precisamente porque en Quinteros, es donde necesitamos descarbonizar las empresas” (Sebastián Curinao, Subgerente de GNL, 2024).

Otro desafío social, debido a que Quintero tiene un barrio industrial grande, es que existe el miedo de una explosión como ocurrió en el Líbano, ya que, si bien hay altos estándares de seguridad, existe una pequeña probabilidad y por ello es necesario informar y trabajar con la comunidad, para que esta tenga una menor resistencia al cambio y se pueda adaptar paulatinamente, fomentando una relación con comunicación directa, como muchas veces no se genera en algunos proyectos que afectan a la comunidad, y existe un gran descontento social, llegando incluso a las manifestaciones en búsqueda de alguna respuesta o solución, por ello es sumamente importante la participación activa de la población, “sobre todo

sabiendo que en Chile se tienen acuerdos importantes como el de Escazú, en donde los objetivos tienen que ver con una gran participación ciudadana” (Karen Arriaza, GEMA, 2024). “Ahora la empresa que trae el hidrógeno verde, por suerte, es una de las menos contaminantes, que tiene más sentido social, ha participado en muchos proyectos con el municipio y la comunidad” (José Andrade, SECPLAN, Ilustre Municipalidad de Quintero, 2024), esto refleja que se tiene una buena orientación hacia el área social, sin embargo, es necesario seguir fomentando este tipo de relación, en todas las fases de los proyectos que afectan a la comunidad o al medio ambiente.

Además, si bien anteriormente se aborda el aspecto de que la empresa presenta una gran responsabilidad social interactuando con el municipio y la comunidad, esto se contrasta con las entrevistas realizadas hacia la comunidad de Quintero, ya que, se presentaron inquietudes en cuanto a la propagación de información hacia la comunidad, en donde el 100% de los residentes entrevistados se sienten desinformados, debido a que consideran que la comunicación no ha sido propagada de manera masiva, indicando que se deberían generar iniciativas participativas principalmente a través de las juntas de vecinos y la municipalidad, además también consideran necesario documentos informativos, iniciativas en redes sociales, centros de adulto mayor o de agrupaciones sociales, como se muestra a continuación:

Canales de comunicación preferidos en Quintero

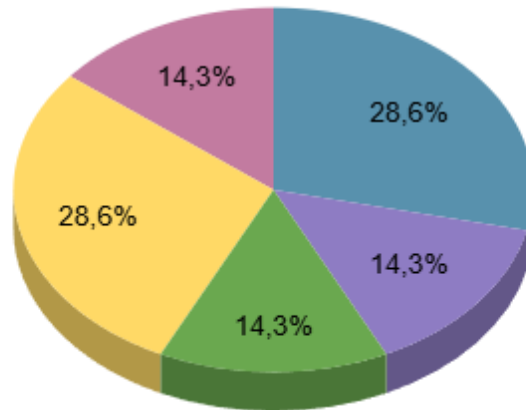


Fuente: Elaboración propia.

Dentro de esto también abordaron el beneficio de la creación de empleo y descontaminación paulatina y sus preocupaciones respectivas, como la contaminación durante el proceso de construcción, la manifestación social con respecto a la sobrecarga productiva y falta de información, además de posibles conflictos sociales debido al uso de agua potable para la producción de H₂V, ya que, algunas comunidades se están abasteciendo de camiones aljibes actualmente, por último, también abordaron la preocupación sobre la eficiente gestión de este gas, aludiendo a la posibilidad de explosión. Es sumamente importante abordar dichos desafíos, ya que, según un estudio ambiental del proyecto de Quintero “de los 11 impactos de la fase de construcción, 10 fueron clasificado como No Significativo y 1 fue clasificado como Significativo, el cual corresponde al componente de Medio Humano” (SGA Gestión Ambiental, 2023).

Preocupaciones sociales

● Contaminación ● Conflictos por uso de agua ● Sobrecarga productiva ● Desinformación
● Riesgo de explosión



Fuente: Elaboración propia.

A partir de todos los desafíos sociales mencionados anteriormente, es necesario definir distintos métodos de compensación, en donde, los especialistas abordaron diferentes medidas, como la reducción del pago en la luz, electricidad o gas, incorporación de un impuesto específico a este tipo de actividades, para una respectiva recaudación del estado para posteriores gastos en medidas de compensación o mitigación, estos proyectos también pueden aportar a la calidad de vida de las personas, fomentando una mayor vegetación, oportunidades de desarrollo agropecuario y asegurar la disponibilidad de agua en estas zonas, en donde ya es un recurso crítico. Además, cuando se generan este tipo de proyectos, es necesario involucrar a la sociedad, sobre todo en los municipios, creando charlas, talleres, actividades, instancias de comunicación a nivel nacional y local, en todas las fases del proyecto, o asegurando que los puestos de trabajo sean para las personas de la localidad, generando así una especie de confianza, entre

la empresa y la comunidad, sumamente necesaria, ya que, actualmente las empresas de la bahía no tienen credibilidad.

Por último, con respecto a la utilización de otras fuentes de agua para la producción de H2V, especialistas abordaron la desalinización y el tratamiento de aguas residuales como las mejores alternativas para ello. Es importante considerar que actualmente existe una alta orientación hacia la instalación de desalinizadoras, pero “con ello vienen también desafíos ambientales en cuanto al manejo de sus desechos, por otra parte, el tratamiento de aguas residuales es otro enfoque importante e incluso quizás más valioso, ya que, se pueden generar economías circulares” (Karen Arriaza, GEMA, 2024), considerando además que este tipo de agua no se reutiliza en su gran mayoría, sino que se realiza un tratamiento básico y es vertido directamente al mar.

“En la provincia del Choapa se vierten casi diariamente alrededor de 60 camiones aljibe, que son las aguas servidas y van a dar directamente al mar con un tratamiento básico, lo mismo ocurre con las aguas servidas de Coquimbo, de Tongoy, Guanaqueros, La Serena” (César Pastén, MODATIMA, 2024).

Así mismo se indica que “la alternativa es utilizar las aguas residuales para no tensionar los temas de los derechos de agua o la poca disponibilidad de este recurso potable” (Carlos Alvear, Centro de Energía de la U. de Chile 2024), sin embargo, la desalinización es la alternativa por la cual están orientadas la mayoría de las empresas, principalmente por la madurez tecnológica que tiene el proceso de desalinización y los costos asociados, en la misma línea, también se aborda el

tema de que no aumenten significativamente la cantidad de dichas plantas, ya que, esto afectaría a diversos bordes costeros debido a la descarga de salmuera en el mar, en vez de esto se propone generar una planta compartida disminuyendo así las externalidades negativas.

Si bien “el ciclo natural del agua desala hasta 2 mil veces más que todas las desaladoras combinadas” (Daniel Prats, catedrático de ingeniería química y coordinador de proyectos y desarrollo del Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante, España) y por ello el hecho de extraer agua de mar para procesarla tiene un efecto despreciable a largo plazo, el desecho de salmuera sigue siendo un centro de debate, ya que, actualmente no se reutiliza efectivamente, se diluye para minimizar una alta concentración de sal y luego se descarga directamente al mar, con respecto a esta práctica “tampoco sabemos muy bien cuáles pueden ser los impactos socio ambientales, y cómo eso afecta a los litorales, cuencas, territorios y finalmente el ciclo del agua” (Juan Pablo Pallamar, asesor de gabinete, Ministerio de Medio Ambiente Chile, 2024), por ello es necesario fomentar una buena gestión de residuos, a través de por ejemplo la utilización de este desecho, en donde a través de un procesamiento adecuado “las salmueras residuales desechadas por las instalaciones de desalinización de agua de mar pueden ser utilizadas en el cultivo hidropónico como fuente de minerales y agua” (IPNA, 2020), “la salmuera también se usa para riego de cultivos tolerantes y acumuladores de sales tales como la cebada, algodón, remolacha, trigo, espinacas, espárragos y alcachofas” (Issuu).

“Por otro lado, el estudio señala que, mediante la aplicación de tecnologías de evaporación mejoradas, como la destilación por

membrana con energía solar, la solución excedente generada en el invernadero puede ser utilizada para producir agua fresca para el riego y fertilización de jardines” (IPNA, 2020).

Además, según un proyecto de tesis apoyado por la empresa HIF Global

“Para el caso de la gestión de salmueras, se reveló que existen diversos usos posibles, entre los que destacan, el reúso dentro de las mismas desalinizadoras, extracción de minerales o elementos, recuperación de energía, aplicaciones medioambientales y otras menos comunes como el uso en acuicultura, deshielo, curtiembre, agricultura y construcción” (Cooperativa Ciencia, 2023).

En general con respecto a estas dos herramientas de desalinización y tratamiento de aguas residuales, especialistas hacen referencia a que es necesario desarrollar un marco regulador más específico, que aborde efectivamente por ejemplo la gestión de residuos, un aspecto sumamente importante. Además, se debe fomentar un mayor desarrollo en otras áreas, como en la utilización de aguas residuales tratadas, ya que, gran parte de estas no se están reciclando actualmente, en otros países se exige la máxima reutilización posible en distintas áreas y luego de eso considerar una descarga en el mar. Por otra parte, especialistas mencionan que es necesario abordar otros aspectos para la obtención del recurso hídrico, como la captación de agua de lluvia o la extracción de agua del aire, por ejemplo, a través de redes de niebla.

La producción de hidrógeno verde destinada a las exportaciones del país, estarán orientadas hacia la desalinización, por otro lado, específicamente en la localidad

de Quintero, en donde su producción será para abastecer la demanda local, se utilizará agua potable suministrada por ESVAL

“Este es un proyecto demostrativo que no es a gran escala, entonces no es de mucho consumo de agua, por ende, el principal desafío del H2V actualmente es que es 2 o 3 veces más caro que el gas natural, entonces si nosotros a nuestro proyecto de producción de hidrógeno le dedicamos una planta de desalación, el hidrógeno va a ser aún más caro y no creemos que sea necesario para esta escala de proyectos” (Sebastián Curinao, Subgerente de GNL, 2024).

A partir de aquello, se identifica un uso marginal del agua potable para la producción de H2V en Quintero, por ello no se suponen conflictos sociales, sin embargo, si el proyecto crece o si existe un incremento de la sequía en el sector, será necesario asegurar el abastecimiento de la comunidad local, y explorar otras fuentes hídricas para dicha producción.

Por último, a partir del análisis cualitativo se elabora una nube de palabras, en donde su tipo de tamaño representa la frecuencia de estas, las palabras más grandes son las más utilizadas, mientras que las más pequeñas tienen una frecuencia menor, principalmente se destaca el uso de la palabra agua, seguido de hidrógeno, energía, industrias, ambiente, comunidad, infraestructura, ley,

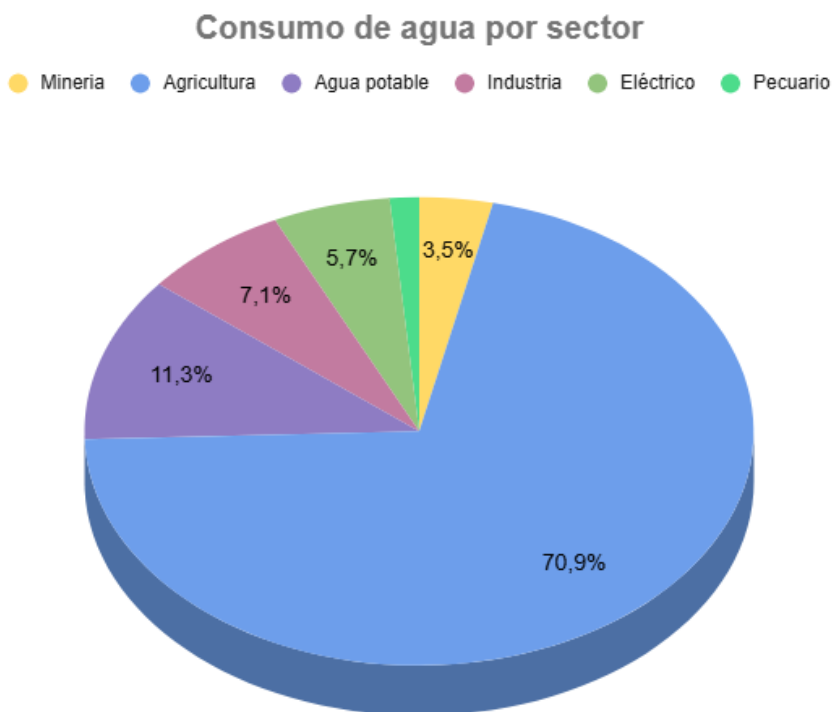
transporte, agricultura, entre otros, como se muestra a continuación:



Fuente: Elaboración propia.

9. CONCLUSIONES

Finalmente, a partir de estos resultados se considera que sí se puede implementar este tipo de proyectos en sectores con estrés hídrico, ya que, las instalaciones a grandes escalas se enfocan en la utilización de agua desalinizada, y como se mencionó anteriormente, el principal problema relacionado al agua no es el crecimiento productivo, sino su mala gestión, además si bien existe evidentemente un estrés hídrico en el país, la implementación de esta nueva fuente de energía, no representa una alta demanda de agua, si se analiza con respecto a otros usos actuales, ya que, el H2V consumiría no más del 15% de la demanda de la minería, el cual utiliza entre el 3% y 4% del total nacional, la agricultura en cambio utiliza el 72%.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Consejo Minero, 2023.

Sin embargo, a pesar de que exista un mínimo consumo de H₂V, con respecto a otros sectores productivos, es importante abordar lo que la desalinización implica, ya que, esto genera desechos de salmuera, en donde algunas plantas exploran la reutilización de ésta en procesos industriales, aunque estas aplicaciones aún son muy limitadas. La principal gestión de este desecho es la descarga directa al mar, lo que puede generar cambios en la salinidad y temperatura del agua marina local, afectando a la biodiversidad del sector, algunas empresas han optado por diluirla antes de ser devuelta al mar o utilizar difusores para su integración al medio marino solo con sales y no con otros contaminantes, para mitigar los efectos directos sobre la flora y fauna marina en esa zona específica, sin embargo, los efectos a largo plazo sobre los ecosistemas marinos pueden ser significativos, es por ello que se deben seguir examinando y creando nuevas tecnologías para el tratamiento y reutilización de estos desechos, ya que, desde una perspectiva ambiental, la desalación es una tecnología madura, pero aún presenta grandes desafíos en términos de la gestión de residuos, por otro lado, la reutilización de aguas residuales tratadas y la captura de agua de lluvia son opciones más sostenibles a largo plazo, aunque requieren de inversiones iniciales mayores.

Por otra parte, si bien la producción de H₂V en Quintero será a partir de agua potable suministrada por ESVAL, las últimas precipitaciones han generado una acumulación del recurso hídrico, en donde, especialistas indican que se han reactivado las napas freáticas del país, además la cantidad utilizada en dicho proyecto será marginal, como indica el subgerente de GNL, debido a que este

proyecto es a pequeña escala, si se llegaran a generar dificultades de abastecimiento por un aumento futuro de la sequía del sector, el consumo humano debe ser priorizado, además si se promueve el uso de H2V en la región y sus alrededores, incrementando así significativamente su producción, se deberá evaluar la utilización de la desalinización o la reutilización de aguas residuales tratadas para la producción de H2V y así no comprometer el consumo local del recurso hídrico.

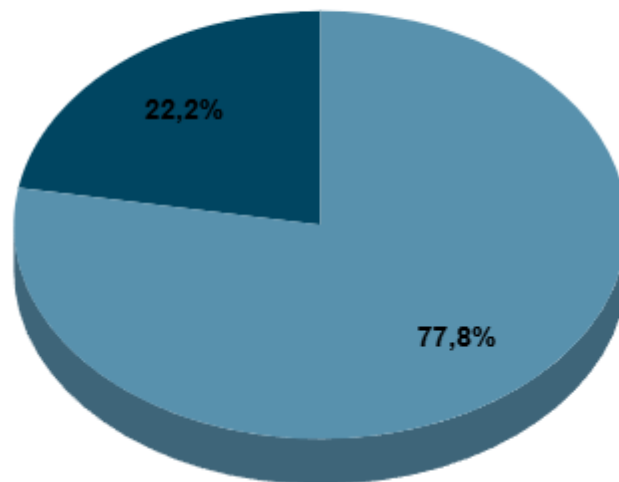
Por último, el análisis cualitativo afirma la hipótesis con un 77,8% de los entrevistados, en donde se destacó principalmente el área de la política pública

“Es fundamental porque el hidrógeno ahora es más caro que la alternativa, entonces, si tú dejas libre al mercado nadie lo va a hacer, y la política pública es la que nos incentiva, nos obliga o nos prohíbe hacer ciertas cosas, por ejemplo, puede haber subsidios, beneficios tributarios o pueden decirte que si es que tu proceso industrial usa hidrógeno verde no te van a cobrar tal cosa” (Sebastián Curinao, Subgerente de GNL, 2024)

Por otra parte, el resto de entrevistados considera que además de estos factores, es necesario abordar el desarrollo técnico y generar incentivos a los privados para el incremento de la demanda del H2V, a través de la aplicación de ciertos instrumentos económicos, o consideran que el estrés hídrico, no es un aspecto tan relevante, ya que, en grandes proyectos se puede utilizar la desalinización para el abastecimiento hídrico.

Hipótesis

● Afirmación ● Refutación



Fuente: Elaboración propia.

10. RECOMENDACIONES

Para la implementación del H2V en Chile, se recomienda abordar diversos aspectos para su futuro desarrollo, como la elaboración de una normativa específica para la gestión de salmuera de las plantas desalinizadoras de todos los diferentes tamaños, además de una fiscalización efectiva, ya que, la ausencia de esta ley puede generar cierta incertidumbre jurídica y dificultar la aplicación de medidas de control más rigurosas, se deben generar incentivos para que los privados incorporen H2V en sus procesos a través de beneficios tributarios, como créditos fiscales o reducción de impuestos, subsidios, incrementar el precio de las alternativas, una ampliación en cobertura sectorial del impuesto a las emisiones de gases de efecto invernadero y otras medidas para fomentar una utilización de este producto en diferentes industrias, promoviendo así la descarbonización del país.

Por otra parte, con respecto al área social la implementación de nuevas industrias o empresas que interactúen con el medio ambiente y la comunidad, deben proponer soluciones o beneficios relevantes para la localidad, como reducción de pago de cuentas, incrementar la vegetación del sector, establecer mecanismos de queja permanentes, asegurar la disponibilidad de agua, incorporación de un impuesto específico a este tipo de actividades, para una respectiva recaudación del estado para posteriores gastos en investigación, desarrollo de soluciones eficientes, o medidas de compensación y mitigación, sobre todo en una zona de sacrificio, en donde la ciudadanía se encuentra resentida con respecto a la intervención industrial.

Así mismo, se debería exigir la participación de la comunidad en este tipo de proyectos, con el fin de tener una comunicación abierta, transparentar los procesos, abarcar inquietudes de la ciudadanía, evitar conflictos sociales y la resistencia al cambio.

Por último, en cuanto a la gran problemática del recurso hídrico, se recomienda aumentar el uso de agua reciclada, a través de programas, concientización o políticas públicas, fomentando la recolección y reutilización de aguas pluviales o agua de niebla, recarga de acuífero, fomentar además una mayor utilización y concientización de las aguas residuales tratadas, tanto industrial como domésticamente, ya que, existe un gran potencial desaprovechado para el abastecimiento de esta agua, la cual podría tratarse eficientemente y utilizarse en procesos industriales, descarga de inodoros, riego de áreas verdes, lavado de auto, e incluso para cultivo de ciertas especies, etc.

11. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia nacional del hidrógeno verde* (Max Correa A. – Carlos Barría Q. – Benjamín Maluenda P. ed.). Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones.
https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_h2_-_espanol.pdf
- 2) International PtX Hub. (2023, septiembre). *H2V en Chile* (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH ed.). Disponibilidad del recurso hídrico en el desarrollo del hidrógeno verde y sus derivados en Chile.
<https://h2lac.org/wp-content/uploads/2024/01/Disponibilidad-del-recurso.pdf>
- 3) Smart Energy. (2023, julio 13). *Green hydrogen production: Integrating environmental and social criteria to ensure sustainability* (Department of Energy and Environmental Management, Europa-Universität Flensburg, Germany. ed.).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666955223000199>
- 4) Sustainability. (2022, diciembre 24). Green Hydrogen and Social Sciences. *Issues, Problems, and Future Challenges*. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/1/303>
- 5) Water. (2011, septiembre 9). Water Recycling in Australia.
<https://www.mdpi.com/2073-4441/3/3/869>
- 6) Delgado, R., Garrido, V., Jiménez, A., Olivares, F., Ramírez, J., Vergara, F. (2022). Taller de Planificación Integrada en Contexto de Zonas de Sacrificio. El caso de Quintero - Puchuncaví. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales UC, Documentos de Taller IEUT, N° 2.c. https://estudiosurbanos.uc.cl/wp-content/uploads/2022/07/doc_taller-3-2021.pdf

7) Naciones Unidas Chile. (2021, febrero). *ESCASEZ HÍDRICA EN CHILE: DESAFÍOS PENDIENTES.* Recursos hídricos.

[https://chile.un.org/sites/default/files/2021-](https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB%20Recursos%20H%C3%ADricos_FINAL_17%20de%20marzo.pdf)

[03/PB%20Recursos%20H%C3%ADricos_FINAL_17%20de%20marzo.pdf](https://chile.un.org/sites/default/files/2021-03/PB%20Recursos%20H%C3%ADricos_FINAL_17%20de%20marzo.pdf)

8) Bañados, Alejandro; Benavides, Carlos Martín; Díaz, Manuel; Barajas González, Luis; González, Hermann; Gracia, Francisco; Montedónico, Marcia; García Palma, Rodrigo Salvador; Torres, Rigoberto.

Recomendaciones y Pasos Necesarios para Desplegar un Esquema de Instrumentos Económicos que Catalice la Transición Energética Necesaria para Cumplir con la NDC de Chile y el Objetivo de cero Emisiones de GEI (Spanish).

Washington, D.C. : World Bank Group.

<http://documents.worldbank.org/curated/en/099062523124087069/P176310014d2090ac0beb00a72e8d339247>

9) Sistema de Gestión Ambiental. (2023, agosto). HIDRÓGENO VERDE BAHÍA DE QUINTERO ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. In *PLAN DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN, COMPENSACIÓN Y/O REPARACIÓN*. Rosario Norte 100 Piso 14, Las Condes, Santiago, Chile., Chile.

https://seia.sea.gob.cl/archivos/2023/08/31/b50_Cap_7_Plan_de_Medidas_Rev0.pdf

10) SGA Gestión Ambiental. (2023, agosto). HIDRÓGENO VERDE BAHÍA DE QUINTERO ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL. In *PREDICCIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL*. Rosario Norte 100, piso 14, Las Condes, Santiago, Chile.

https://seia.sea.gob.cl/archivos/2023/08/31/Capitulo_4_Prediccion_y_evaluacion_de_impacto_Rev0.pdf

12. WEBGRAFÍA

- 1) Universidad de Chile. (2022, marzo 22). *Crisis hídrica en América Latina*. Chile: el país más afectado por la crisis hídrica en América Latina. <https://uchile.cl/noticias/184820/chile-el-pais-mas-afectado-por-la-crisis-hidrica-en-america-latina>
- 2) *Escasez de agua por mala gestión del recurso hídrico | EH2030*. (2019, June 19). Escenarios Hídricos 2030. Retrieved December 1, 2024, from <https://escenarioshidricos.cl/eh-2030-en-la-prensa/escasez-de-agua-causada-por-mala-gestion/>
- 3) Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. (2021, Julio 9). *¿Cuáles son las 104 comunas con Decreto de Escasez Hídrica?* <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=767#:~:text=Al%20mes%20de%20julio%20del,Divisi%C3%B3n%20de%20Hidrolog%C3%ADa%20de%20la>
- 4) Diario Sustentable. (2023, marzo 29). *Socio-hidrología*. un enfoque integral en el combate contra la crisis mundial del agua. <https://www.diariosustentable.com/2023/03/socio-hidrologia-un-enfoque-integral-en-el-combate-contrala-crisis-mundial-del-agua/>
- 5) Center for Climate and Resilience Research. (2023, diciembre 11). *Crítico panorama hídrico en Chile 2023*. Escasas lluvias y menor disponibilidad de agua

(Simfruit). <https://www.cr2.cl/critico-panorama-hidrico-en-chile-2023-escasas-lluvias-y-menor-disponibilidad-de-agua-simfruit/#:~:text=Aclara%20que%20lo%20sucedido%20este,de%20la%20Regi%C3%B3n%20de%20Valpara%C3%ADso.>

6) La Tercera. (2023, diciembre 5). *Esta es la ciudad y los días del año en que más agua se consume en Chile.* <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/esta-es-la-ciudad-y-los-dias-del-ano-en-que-mas-agua-se-consume-en-chile/XJSP32QN3ZFGHJUNXO7ZES3RVY/>

7) Diario Financiero. (2021, diciembre 13). Proyecto de hidrógeno verde en Quintero logra acuerdos de entendimiento con empresas por el 70% de su producción inicial. <https://www.df.cl/empresas/energia/proyecto-de-hidrogeno-verde-en-quintero-logra-acuerdos-de-entendimiento>

8) Ministerio de Energía. (2021, diciembre 28). *Chile adjudica usd\$50 millones para proyectos de hidrógeno verde.* <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/chile-adjudica-usd50-millones-para-proyectos-de-hidrogeno-verde>

9) Corporación de Fomento de la Producción. (2021, diciembre 27). *Corfo adjudica propuestas de Hidrógeno Verde que atraerán inversiones por 1.000 millones de dólares.* https://www.corfo.cl/sites/Satellite?c=C_NoticiaNacional&cid=1476730772854&d=Touch&pagename=CorfoPortalPublico%2FC_NoticiaNacional%2FcorfoDetalleNoticiaNacionalWeb

10) CIPER ACADÉMICO, Arumi, J. L., & Rivera, D. (2021, Julio 2). *¿Cómo mejorar la institucionalidad hídrica en Chile?* <https://www.ciperchile.cl/2021/07/02/como-mejorar-la-institucionalidad-hidrica-en-chile/>

- 11) Borges, A. (2020, June 22). *Transformación de residuos en materia prima: Reutilización de salmueras residuales procedentes de las desaladoras para el cultivo hidropónico* | Instituto de Productos Naturales y Agrobiología. IPNA-CSIC. Retrieved December 1, 2024, from <https://www.ipna.csic.es/blog/transformacion-de-residuos-en-materia-prima-reutilizacion-de-salmueras-residuales-procedentes>
- 12) ISSUU INC. (n.d.). *La salmuera es un recurso*. https://issuu.com/aladyr/docs/magazine02_2021_2132/s/13058630
- 13) Cooperativa Ciencia. (2023, julio 7). *¿Cómo reutilizar la salmuera de las desalinizadoras?* Medio Ambiente. <https://www.cooperativaciencia.cl/medio-ambiente/2023/07/07/como-reutilizar-la-salmuera-de-las-desalinizadoras/>

13. ANEXOS

Entrevista a investigador del centro de energía de UC.

- MR** Millaray Valle Reinoso: Antes de la entrevista, ¿me podría contar un poco de usted? Su nombre y su cargo o experiencia laboral.
- CA** Carlos Alvear: Claro, yo me llamo Carlos Alberto Martínez, soy ingeniero civil eléctrico, y magister en ingeniería eléctrica de la Universidad de Chile. Actualmente estoy trabajando en el centro de energía de la Universidad de Chile como investigador y coordinador de todo lo que tiene que ver con hidrógeno verde y nuevos energéticos. Llevo aquí un poco más de 1 año trabajando, antes de eso estuve 6 meses en Transelec y antes de eso estaba estudiando.
- MR** Millaray Valle Reinoso: Muchas gracias, ahora comencemos con la entrevista. ¿Cómo evaluaría usted la actual disponibilidad de agua dulce en Chile para la producción de hidrógeno verde y cuáles son las principales barreras para una eficiente gestión de este recurso?
- CA** Carlos Alvear: Cuando uno hace los balances energéticos, por ejemplo, para la minería, la verdad es que el agua que uno debe usar para producir hidrógeno verde, y abastecer todos los consumos que potencialmente pueden ser abastecidos con hidrógeno verde, uno llega como números de que se debiera usar el alrededor del 1% de todos los derechos de aguas que tienen la minería, entonces, a priori, no es un consumo importante adicional, destinar agua para la producción de hidrógeno. Eso es súper importante, porque, por ejemplo, uno necesita alrededor de 10 L de agua para producir 1 kg de hidrógeno y 1 kg de hidrógeno tiene mucha energía, así que los balances nos dicen que actualmente

uno o la parte de agua que se deberá destinar a la producción de hidrógeno es más bien marginal con respecto a todos los usos industriales, además consumo de las personas siempre va a ser mucho más importante que alguna fracción que se destine al hidrógeno.

No obstante, aunque este consumo sea pequeño, igualmente es, un poco polémico o conflictivo, quizás debido a todo este escenario del cambio climático, estas sequías prolongadas, entonces el principal desafío es cómo utilizamos un agua que no es potable o dulce, para su primer uso de hidrógeno, eso quiere decir, cómo podemos recuperar agua de otros procesos y ojalá esa destinarla al hidrógeno, si bien es cierto, hoy en día gran parte del agua que se recupera, por ejemplo, se puede tratar y devolver a los cursos de río, parte de esa agua también podría eventualmente ser usada en hidrógeno, hoy en día tenemos ese desafío de cómo hacemos mejor gestión de los recursos hídricos, por ejemplo, también en punta arena hoy en día está produciéndose hidrógeno a partir de agua de napas subterráneas, ya la planta está llegando a una fase piloto y está usando agua dulce continental, entonces, cuando nosotros después hablamos de producir hidrógeno para exportarlo, también vamos a estar indirectamente exportando agua y esto también es una potencial fuente de conflicto, o podríamos nosotros cuestionarnos, si es correcto o justo exportar agua a otros países cuando hay zonas en nuestro país con estrés hídrico, por ejemplo, me imagino la zona de la quinta región que tiene todo este problema con la agricultura, estas tensiones sobre el agua, cómo, entonces podemos, balancear todas las necesidades sin dejar tampoco pasar una oportunidad de uso industrial.

Afortunadamente, como te decía, la parte de agua que habría que destinar para hidrógeno, solamente para los consumos nuestros, es menor, pero ya cuando hablamos también de exportación, eso se complica un poco más, entonces, ahí se da cabida a todo lo que tiene que ver con ya empezar a desalar, uno también esperaría que la mayor parte de los proyectos de exportación se ubique cerca de las costas, entonces lo más lógico sería desalar y después nos surge el otro problema de, por ejemplo, en la región Antofagasta ¿vamos a aceptar tener 10 o 15 desaladoras? o mejor tener una grande y que todos compartan, ¿y qué pasa con los consumos de las ciudades?, por ejemplo, en Calama o en ciudades del norte grande, el agua naturalmente es muy pesada, entonces vamos a estar destinando la infraestructura para hacer agua, que a priori podría ser potable también o podría ser cultivable en producción de hidrógeno, entonces eso es un desafío que es super amplio, e involucra las esferas de acción de distintos ministerios y también distintas industrias, entonces ahí aumenta el desafío.

MR Millaray Valle Reinoso: Claro, entonces ¿usted considera que existe una adecuada disponibilidad de agua dulce para la producción?

CA Carlos Alvear: Para lo que es consumo nacional, sí. Si hablamos de descarbonizar ciertos procesos industriales, con respecto al agua que hay que destinar, si hay suficiente, ya cuando hablamos de exportación ahí cambia un poco el panorama.

MR Millaray Valle Reinoso: Y según usted, ¿cuáles serían las principales barreras para la gestión de este recurso?

CA

Carlos Alvear: Es súper difícil, por ejemplo, hacer una gestión de los cursos de agua canalizados, hoy en día, el gremio de los dueños de los canales que están asociados en esta asociación de canalistas, es un sector super tradicional y amparado al mundo de la agricultura, entonces, si uno quisiera hacer frente al problema del agua, más allá del hidrógeno, porque el agua si tiene un problema, uno tiene que entrar a cambiar la regulación y a cuestionar los derechos de aguas, por ejemplo, hoy en día no puede ser que la suma de los derechos de agua sobre un curso de río sea mayor al agua que efectivamente hay disponible, porque claro, hace 20 o 30 años llovía mucho, había mucho hielo, por lo cual, los derechos de agua alcanzaba para todos, pero hoy en día hay derechos de papel, pero no hay agua, entonces a su vez, hay un crecimiento desproporcionado de este tipo de parcelas de agrado que extraen de las aguas subterráneas, secando las napas.

Entonces, hoy en día lo que nos falta, bajo mi punto de vista, es poder cambiar fuertemente la regulación, que se entienda que el agua ya dejó de ser un recurso abundante y pasa a ser un recurso más bien escaso y cambiar la forma en que se gestiona, por ejemplo, falta mucha infraestructura de embalses, todo parece indicar que los eventos climáticos en el invierno ya no van a ser lluvias bajas en varios días, van a ser lluvias muy concentradas en pocos días y eso va a estar causando todo estos eventos que ya han pasado, como desbordamiento de ríos e inundaciones de pueblos, entonces lo más natural es pensar que hay que empezar a invertir ya seriamente en embalses, en canalizar mejor los canales, en taparlos, ya que, es súper difícil planificarse en torno a los canales descubiertos, por ahí hay un problema de la gestión de las aguas continentales, que es mucho más amplio

que el mundo de la energía, porque como te decía, hay que abastecer el consumo humano, los consumos industriales, la agricultura y a la vez tenemos el tema con la desalinización, debido a que, hoy en día la regulación solo permite crear desaladoras nuevas para la agricultura, ni siquiera para el consumo humano, la legislación es súper rígida y se está cambiando, hasta la lógica de hacer, por ejemplo, desaladoras multipropósito grandes, para evitar tener mucho borde costero intervenido, ahí también hay cambios regulatorios y de planificación que nos llaman a abordar todas estas acciones, todas las demandas, ya que, hay agua para la minería que se necesita, agua para la agricultura, para el consumo humano, para el hidrógeno, entonces hay que ver cómo se resuelve todo eso.

MR

Millaray Valle Reinoso: Claro, sí y ¿Qué sectores productivos podrían beneficiarse significativamente de la adopción del hidrógeno verde en Chile y cuáles son los principales factores que lo impulsan?

CA

Carlos Alvear: El hidrógeno es una de las herramientas que nos van a permitir alcanzar las metas de transición energética y de carbono neutralidad, en ese sentido, se ha hablado mucho de que Chile es un país súper rico en energía solar y eólica, sin embargo, es un recurso que es un poco difícil de exportar, ya que, por ejemplo, nosotros podríamos exportar esa energía directamente a los vecinos, a Perú, a Bolivia, Argentina, mediante líneas de transmisión, pero ya pensar en cómo la energía solar del desierto de Atacama, la podemos exportar a Europa, es más complicado. En esa línea, el hidrógeno nos permite generar una forma en la que Chile puede crear un nuevo mercado de exportaciones de energéticos, no de materiales, Chile siempre ha sido productor de materias primas, ahora podríamos

además agregar una nueva industria, exportación energéticos, que además sean limpios, en ese sentido, yo creo que el mayor potencial o sector productivo que podría beneficiarse de esto es básicamente toda la exportación, hay igual varios desafíos con todo lo que tiene que ver con temas regulatorios, con los puertos, el hidrógeno no se puede exportar como hidrógeno, tiene que exportarse, por ejemplo, como amoniaco y este es un compuesto súper tóxico, entonces hay un tema con los puertos y los barcos de amoniaco, igual en Chile ya hay experiencias como en la región de Antofagasta en donde ya hay un puerto que trabaja con amoniaco.

Entonces, ese es el desafío que tenemos, que va más allá de nuestra industria del transporte, ya que, hay un montón, de comunidades aisladas que eventualmente podrían reemplazar su generación diésel por el de celdas de combustible con hidrógeno, debido a que, el hidrógeno nos permite también tener una fuente energética limpia y gestionable que puede complementar perfectamente la energía solar, por ejemplo, en poblados de la cordillera del altiplano, que están desconectados de todo el sistema eléctrico y no tienen energía eléctrica todos los días o no todas las horas del día y que además sean de diésel que genera contaminación, como también en las islas como Rapa Nui y Juan Fernández, donde los sistemas son diésel totalmente, por lo cual, también hay un potencial de descarbonizar sus sistemas aislados.

Otro de los sectores que podrían beneficiarse, es el mismo sistema eléctrico, ya que, si nosotros, por ejemplo, pensamos cuáles son las reservas energéticas del país, la única existente es solo el embalse de agua, nosotros no tenemos una gran

infraestructura de petróleo o de gas natural, como si la tiene Europa que puede estar 3 meses sin recibir barcos de gas natural y sus reservas van a tener gas natural para ellos, en Estados Unidos tienen millones de toneladas de petróleo solamente almacenada, pero en Chile solo tenemos los embalses, y cuando se genera sequía los embalses empiecen a bajar, entonces empezamos a ser un país que está a merced, básicamente de la incertidumbre.

Por lo tanto, el hidrógeno eventualmente puede configurarse como una potencial reserva estratégica energética de largo plazo, no como las baterías, las baterías ayudan al sistema eléctrico al balance dentro del mismo día, segundo a segundo. No así el hidrógeno, que puede configurarse como una reserva de largo plazo, por ejemplo, se puede generar mucho hidrógeno en el verano para el invierno, pero eso igual es caro porque no está tampoco la estructura para almacenar ese hidrógeno. Pero eventualmente existen distintas alternativas, por ejemplo, hay un montón de las mismas minas de carbón que ya no se usan, estas son submarinas lo cual significa que están bien impermeabilizadas, entonces en esas minas podríamos nosotros inyectar el hidrógeno y después volver a energizarlo, minas de cobre que ya estén abandonadas también son una buena alternativa, por ende, habría que estudiar también qué tipo de formaciones geológicas nos ayudan a almacenar hidrógeno en grandes cantidades, o bien lo podemos directamente almacenar en forma de amoniaco y generar tremendas reservas de amoniaco, entonces hay un potencial ahí, en donde el hidrógeno nos puede ayudar a configurar una segunda reserva energética, aparte de los embalses, y que sería

algo igual superpositivo, en mira también a la independencia energética, desde mi perspectiva.

MR

Millaray Valle Reinoso: A nivel empresarial y social, ¿cuáles son los principales beneficios económicos que se esperan de esta producción y qué desafíos sociales podrían surgir con la implementación de estos proyectos? ¿Qué medidas de mitigación o compensación recomendaría?

CA

Carlos Alvear: Mira cuando vino esta consultora a mostrar sus predicciones de hidrógeno a Chile y que después se transformó en la estrategia nacional de hidrógeno que se lanzó en el Gobierno anterior, la apuesta era que el hidrógeno para el año 2050 puede llegar a ser una industria tan valiosa como la minería del cobre, que podría aportar la misma cantidad de millones de dólares y de empleo a Chile, como lo es hoy en día la minería del cobre, lo cual puede que ocurra, pero también hay una probabilidad importante de que no sea tan impactante.

Lo que yo veo, es que el hidrógeno tiene un potencial de conformar polos de desarrollo fuera de Santiago, bueno para que hablar de la región de Antofagasta que es una región super industrializada, pero por ejemplo, la región de Magallanes, por su posición geográfica extrema, también tiene otros desafíos a nivel de desarrollo socioeconómico que podrían verse beneficiados por el desarrollo de esta industria del hidrógeno, o sea, hoy en día el hidrógeno lo que nos permite es también poder configurar polos de desarrollo en las distintas regiones del país y también de producción de energéticos limpios, ya sea en Santiago o en la zona central también va a ser posible aprovechar, a priori, estos beneficios del hidrógeno, entonces lo que uno puede esperar es que se produzca una nueva

industria de exportación, que además va a ser altamente tecnológico porque las tecnologías asociadas al hidrógeno son super tecnológicamente complejas, eso igual es un desafío, porque hay que entrenar la mano de obra, no basta con los ingenieros de papel como uno por ejemplo, también faltan los técnicos que en la práctica van a construir, mantener y operar estas plantas. Entonces eso es lo que uno podría apostar, que es una industria de exportación nueva que Chile va a tener y ahí el país tendría una nueva fuente de ingresos para avalar también para todos sus desafíos.

Uno de los principales desafíos sociales que pueden surgir, por ejemplo, en la región de Magallanes que geográficamente es muy amplia, pero en la práctica los asentamientos humanos súper reducidos y además la población es super disminuida también, es que no hay un sistema eléctrico, son casi puros sistemas medianos aislados que no están interconectados entre ellos, por lo cual, no hay infraestructura eléctrica, tampoco hay mucha infraestructura en temas de recolección de basura, de gas natural, de combustibles, de todo lo de servicios básicos para las personas. Entonces, cuando uno habla de todos estos proyectos que se van a construir en Magallanes, también se reflexiona, si es posible que la ciudad abastezca todos los servicios básicos a esa población flotante que va a llegar, que después va a disminuir cuando los proyectos se dejen de construir, entonces claro, si lo llegaran a realizar en la zona central, solo ponen campamentos, pero el agua, la luz, los servicios de recolección están, entonces no es tan difícil, no así en la región de Magallanes, por ende, tiene ese desafío.

Por otra parte, yo creo que el mayor desafío es que si todo lo que se proyecta, que se va a construir en Magallanes, se construye, estamos hablando entre 2.000 y 3.000 torres eólicas, entonces, es absurdo pensar que estas torres no van a generar un conflicto social, o sea, hay todo un tema con esto, ya que, estas son intensivas en uso de espacio, porque tienen que estar separadas de la otra, temas con las aves que se golpean con las aspas, qué pasa después con todas esas aspas cuando se dejan de usar, que son de fibra de vidrio y no son tan fáciles de reciclar. Además, es importante considerar el asunto de los puertos, debido a que, con la capacidad portuaria actual de Magallanes, si llegan los barcos con dichas torres eólicas para descargarlas, considerando la cantidad y estructura de estas, van a demorarse más de 10 años en descargarse, si el puerto trabaja las 24 horas del día y obviamente no es algo factible, por lo tanto, también hay un desafío de ampliar los puertos ahí o de crear nuevos puertos, sin saturar el estrecho de estos, entonces ahí, hay un súper desafío. Hoy en día, también está el tema de que el estrecho tiene una capacidad limitada de tráfico de barcos, de operadores también, debido a que, es gente de Magallanes quienes se suben a los barcos para que crucen el estrecho. La idea es que esta oportunidad positiva no se convierta en un “HidroAysén”, en donde existían muchas externalidades positivas supuestamente, pero se podría decir que el proceso de socialización pudo haber fallado y ese proyecto finalmente fracasó, entonces, la idea es que estos proyectos de hidrógeno en Magallanes sean lo más amigable posible con la sociedad.

Si nosotros hablamos de medidas de compensación o mitigación, con estos proyectos que son tan masivos, por ejemplo, comparados con la población de

Magallanes, que estas empresas debieran hacerse cargo, de suministrarlos con los servicios básicos a la ciudadanía, entonces, si tú me preguntas a mí, la gente de Punta Arenas y de todas las ciudades Magallanes, no debieran pagar más luz, ni agua, ni otros servicios sociales, porque, si estamos generando una tremenda industria y exportación de energético limpio, no es tan lógico y coherente que la gente del lugar, que además son poquitos habitantes, tenga que pagar luz y agua, por lo cual, para mí esta sería la medida más directa de aplicar, además de tener buenos hospitales, buenos colegios, es decir, esas externalidades tienen que traducirse, sí o sí, en beneficios tangibles para la gente. Hoy en día, lo que pasa con los sistemas de evaluación ambiental, es que se deja que las empresas con la comunidad resuelvan el tema, pero si van a llegar 20 o 10 proyectos y cada uno va a resolver de forma independiente con la comunidad, con respecto a las medidas de mitigación, esto se va a desordenar, entonces acá es necesario que estas medidas se hagan a través del Estado. Eso es lo que yo veo, en Punta Arenas, la gente tiene que ver nuevas oportunidades de desarrollo, de tener una vida más cómoda, más barata, que se cree un sistema eléctrico, dado que llegan estos proyectos, ya que, sería muy favorecedor, que la gente de este sector deje de consumir luz que viene con una alta huella de carbono, ya que, hay mucha generación diésel y a gas.

Por otro lado, en el norte el tema más crítico es el agua, por ende, yo creo que la mejor forma de compensar es que estos proyectos de hidrógeno en ese sector debieran destinar parte del agua que van a usar en, por ejemplo, generar cultivos en el desierto, además, va a generar nuevos empleos, cultivar zonas en donde

antes había desierto nos va a permitir dar trabajo en temas de hortalizas, en todo lo que se va a plantar en el desierto, y eso igual podría ser super valioso. También que aumente la disponibilidad de agua, entonces, eventualmente estos proyectos pueden aportar a que también la calidad de vida de las personas mejore, que haya más vegetación, más oportunidades de desarrollo de tipo agropecuario y en el fondo, facilitar la disponibilidad de agua en esas zonas en donde ya es un recurso súper crítico.

MR

Millaray Valle Reinoso: ¿Cuál es su opinión sobre la posibilidad de utilizar aguas no convencionales, como aguas residuales o desalinizada, en la producción de hidrógeno, y qué desafíos implica esta alternativa? ¿Recomendaría a otra tecnología o proceso para minimizar el consumo de agua?

CA

Carlos Alvear: Bueno, yo creo que la respuesta al hidrógeno es que son las aguas residuales y desaladas las que hay que usar, ya que, como le decía por ejemplo, el agua que debiéramos usar para la producción de hidrógeno, es el agua que se recupera de las plantas de tratamiento de aguas servidas, o también hoy en día la minería es capaz de devolver hasta el 80% del agua que toma a los cursos de río, y cierta parte de esa agua puede ser utilizada para la producción de hidrógeno, entonces, yo creo que para los tipos de producciones que son insitu, o sea, yo produzco el hidrógeno que yo consumo, o en las ciudades en los polos de desarrollo más establecidos, la alternativa es utilizar las aguas residuales para no tensionar tampoco los temas de los derechos de agua o la poca disponibilidad de este recurso potable, no obstante, si la crisis del agua sigue extendiéndose, va a

haber que traer agua de otros lados para las personas o para la empresa y es ahí donde el desafío escapa un poco de lo que es el hidrógeno verde.

En cuanto a los proyectos que son para exportación, lo más probable es que sea el agua desalada la que se use ahí, y el gran desafío es, por un lado, regulatorio de permitir la construcción de desaladoras para estos propósitos, pero también la idea sería que cada proyecto no construya su propia desaladora, porque estas con el tema de la bocatoma y la salmuera, genera externalidades negativas para el medio ambiente, entonces, se podría sacrificar solo una parte del borde costero y no varias, además, porque uno puede aprovechar las economías de escala, en donde, mientras más grande la desaladora, el costo se amortiza más por unidad de agua producida, por eso siempre se habla de los gigas proyectos, que mientras más grande sea más barato es la unidad individual, por lo cual, la idea ahí es como nosotros ponemos de acuerdo a los distintos proyectos de hidrógeno en usar una sola desaladora, y por ejemplo, un solo puerto también sería lo ideal, pero también como esas grandes desaladoras, además, se puedan utilizar para la minería, la agricultura y para el consumo humano, por ende, el desafío es poner de acuerdo a estas distintas industrias, que están bajo la supervisión de distintos ministerios e instrumentos.

Afortunadamente, en el país hay experiencia positiva sobre el uso de infraestructura compartida, entonces, el gran desafío es cómo nosotros replicamos esta buena experiencia para poder aprovechar esa instancia o incentivar el uso de infraestructuras compartidas, por ejemplo, como hacemos que la desaladora sea independiente, de todos los consumos que vaya a tener, como generamos

reservas de agua. Eso es un tema que tampoco se ha discutido mucho, el tema estratégico de cómo ahondamos todos los esfuerzos, y que debiera ser conversado, porque ya el tiempo nos está jugando en contra, con estos proyectos que se demoran mucho tiempo.

MR Millaray Valle Reinoso: ¿Usted considera que el éxito de la transición energética en Chile, a través del Hidrógeno verde, está condicionado por la resolución efectiva de desafíos como la escasez hídrica, la construcción de una infraestructura adecuada y la implementación de políticas públicas que fomenten su producción y uso sostenible?

CA Carlos Alvear: Aquí lo importante, es aclarar que el hidrógeno verde es solo una de las formas en las que podemos alcanzar la meta de descarbonización, o sea, hay distintos estudios de carbono neutralidad, en donde, la mitad del trabajo es proteger los bosques y reforestar las zonas que están deforestando. Si nos enfocamos en la otra mitad, el hidrógeno verde representa solo entre el 15% o 20% de la solución, gran parte de las soluciones también pasan por electrificar consumos industriales, que son hoy en día, en base a combustibles fósiles, por ejemplo, electrificar el calor eléctrica o el transporte directamente, evitando pasar por el hidrógeno, ya que, la idea del hidrógeno es que lo apliquemos solamente cuando electrificar directamente es súper difícil, por ejemplo, los camiones de larga distancia, con batería sería muy complicado, porque prácticamente un tráiler tendría que ser solo de batería para que tuviera la autonomía necesaria, entonces, ahí el hidrógeno tiene una oportunidad, pero por ejemplo el lado del transporte público en las ciudades, el hidrógeno no es factible, solamente con micros a

baterías basta, entonces, la idea es que el hidrógeno se fomente solamente en los sectores industriales, en donde vale la pena hacerlo, es decir, focalizarlo.

Hay otros temas que pasan por eficiencia energética, hoy en día hay muchas faenas industriales, en donde hay ampolletas o tubos fluorescentes, estos últimos no son tan eficientes como la iluminación LED, temas de aislación térmica, ya que, hoy en día las viviendas están poniendo aire acondicionado, pero nadie está aislando la casa, entonces, si yo aislara térmicamente mi casa, el aire acondicionado no tendría que funcionar todo el día, ni estar tan potente, por ende, hay un montón de energía que puede dejar de ser consumida. Si nosotros mejoramos la eficiencia energética en todos los procesos y así sucesivamente, tomando en cuenta que el hidrógeno es como un instrumento más, obviamente, todos los desafíos asociados a la transición energética requieren inversiones super costosas.

Hoy en día la gran parte del desafío de la transición energética pasa por la construcción de infraestructuras, como por ejemplo, la infraestructura de agua, de desalación, embalses, ductos, canalizaciones, todo lo que nos permita gestionar de mejor forma el agua, evitar estos eventos extremos en invierno con la lluvia, también en el sistema eléctrico, actualmente hay un déficit tremendo de transmisión entre el norte de Chile y la zona centro, hay mucha energía solar en el norte que se está perdiendo, porque no hay suficiente capacidad de transmisión, este tipo de estructura hace falta, interconectarnos eléctricamente con los vecinos. Entonces hay un montón de desafíos asociados a infraestructura, así como también la construcción de puertos, almacenamiento de largo plazo, el

mejoramiento de las vías del tren para prohibir los vuelos cortos, e intentar generar una alternativa mejor. Temas como el aislamiento termo acústico de las viviendas, de las construcciones, eficiencia energética, es decir, hay mucho en infraestructura que hacer todavía, y en el fondo, lo que tenemos que ver hoy en día es cómo esta infraestructura la resolvemos de la mejor forma posible. Hay desafíos regulatorios, desafíos estratégicos que en el fondo es un problema más político que técnico, por ende, hay un rol de la política y de nuestro lado también, de poner los temas en discusión, pues de repente es fácil de que todos estos se diluyan entre la contingencia.

14. ACRÓNIMOS

H2V: Hidrógeno verde, un tipo de hidrógeno producido a través de un proceso llamado electrólisis, que consiste en separar el agua en hidrógeno y oxígeno utilizando electricidad proveniente de energías renovables.