



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

HIDRÓGENO VERDE: BARRERAS DE ENTRADA Y PROPUESTA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA SU PRODUCCIÓN EN CHILE

**Proyecto de grado presentado como parte de los requisitos para optar al
grado de magíster en gestión y planificación ambiental**

JUAN ALBERTO OSORIO TORRES

Profesor Guía: Carmen Luz de la Maza Asquet

Profesor Co-Guía: Rodrigo Patricio Herrera Jenó

Santiago, Chile 2023



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

HIDRÓGENO VERDE: BARRERAS DE ENTRADA Y PROPUESTA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA SU PRODUCCIÓN EN CHILE

JUAN ALBERTO OSORIO TORRES

	FIRMA	NOTA
Profesora Guía : Carmen Luz de la Maza Asquet	_____	_____
Profesor Co-Guía : Rodrigo Patricio Herrera Jeno	_____	_____
Profesor consejero : Patricio Andrés Lillo Gallardo	_____	_____
Profesora consejera: Claudia Loreto Cerda Jiménez	_____	_____

Santiago, Chile 2023

“Sí, mis amigos, creo que algún día se empleará el agua como combustible, que el hidrógeno y el oxígeno de lo que está formada, usados por separados o en forma conjunta, proporcionarán una fuente inagotable de luz y calor, de una intensidad de la que el carbón no es capaz [...] El agua será el carbón del futuro.”

Julio Verne, *La Isla Misteriosa*, 1874.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	viii
SUMMARY	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos específicos	4
2.2.1. Describir las posibles oportunidades que significaría para el país la producción de H ₂ v.....	4
2.2.2. Identificar potenciales barreras de entrada para el desarrollo tecnológico del H ₂ v en el mercado energético nacional.....	5
2.2.3. Identificar los distintos componentes económicos, técnicos, jurídicos, de mercado, culturales, geográficos, ambientales y sociales que originan las barreras de entrada.....	5
2.2.4. Proponer acciones que contribuyan a la gestión ambiental de las barreras propuestas, de tal modo de fortalecer el desarrollo sostenible del H ₂ v, en cada una de sus etapas dentro de la cadena de valor en Chile.....	5
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	6
3.1. Concepto de energía y sus clasificaciones	6
3.2. Crecimiento en la demanda energética.....	8
3.3. Efecto invernadero y Gases de Efecto Invernadero.....	9
3.4. Cambio Climático	10
3.5. Acuerdos internacionales y emisión de GEI.....	12
3.6. Medidas recomendadas para disminuir la emisión de GEI	13
3.7. Principales acciones de Chile respecto del cambio climático.....	15
3.8. ERNC en Chile.....	17

3.9. Hidrógeno.....	19
3.10. Hidrógeno Verde	22
3.11. H ₂ v en Chile	24
3.12. Reactivación económica post pandemia	26
3.13. Estrategia Nacional de H ₂ v	28
3.14. Barreras de Entrada.....	34
3.14.1. Barreras institucionales y regulatorias..	35
3.14.2. Barreras económicas y financieras.....	35
3.14.3. Barreras técnicas y de infraestructura..	35
3.14.4. Barreras de información, participación y conciencia pública.....	36
3.15. Cadena de Valor del H ₂ v.....	37
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
4.1. Identificación de las oportunidades que ofrece el mercado del H ₂ v	39
4.2. Identificación de Barreras para el desarrollo del H ₂ v.....	40
4.3. Identificación de los distintos componentes económicos, técnicos, jurídicos, de mercado, culturales, geográficos, ambientales y sociales que originan las barreras encontradas.	41
4.4. Propuesta de medidas de sostenibilidad para superar las barreras identificadas para el desarrollo del mercado del H ₂ v en Chile.	42
4.5. Encuesta a expertos.....	43
5. RESULTADOS.....	46
5.1. Encuesta a expertos.....	46
5.2. Oportunidades que ofrece el mercado del H ₂ v.....	46
5.2.1. Oportunidades económicas.....	47
5.2.2. Oportunidades tecnológicas	50
5.2.3. Oportunidades de infraestructura	51
5.2.4. Oportunidades ambientales	52
5.2.5. Oportunidades sociales.....	53
5.3. Países con Estrategias de H ₂ v	56
5.4. Barreras para el desarrollo de la industria del H ₂ v	59
5.5. Componentes económicos, técnicos, jurídicos, de mercado, geográfico/ambientales y socioculturales de las barreras.	72

5.6. Propuestas y consideraciones para la Gestión Ambiental de las Barreras.....	73
5.6.1. Crear regulaciones para el H ₂ v.	74
5.6.2. Financiamiento verde	75
5.6.3. Financiamiento a proyectos pilotos	76
5.6.4. Priorizar la producción de H ₂ v desde fuentes solares y eólicas	77
5.6.5. Fomentar la industria verde.....	79
5.6.6. Garantía de Origen y Certificaciones sostenibles para el H ₂ v y sus derivados.	80
5.6.7. Impuesto al carbono.....	82
5.6.8. Protección y conservación de la biodiversidad y los hábitats.	83
5.6.9. Conservación de los suelos	85
5.6.10. Protección ambiental.....	85
5.6.11. Uso sostenible del agua	86
5.6.12. Protección de la calidad del aire.....	88
5.6.13. Evaluación de Impacto Social.	89
5.6.14. Creación de Valor Compartido y Desarrollo Comunitario.....	90
5.6.15. Desarrollo económico y creación de empleo locales.....	91
5.6.16. Eficiencia y mejora del acceso a la energía	93
5.6.17. Educación y capacitación local	94
5.6.18. Derechos de comunidades indígenas	94
5.6.19. Salud y seguridad.....	95
5.6.20. Exigencia de Estudios de Impacto Ambiental (EIA).	96
5.6.21. Acceso a la información	97
5.6.22. Fomentar el transporte nacional cero emisiones.....	98
6. DISCUSIÓN.....	112
7. CONCLUSIONES.....	120
8. GLOSARIO.....	123
9. BIBLIOGRAFÍA.....	124
10. ANEXOS.....	132

RESUMEN

El H₂v emerge como un energético que no libera GEI durante su producción ni uso, lo que ayudaría a la humanidad a mitigar los efectos del cambio climático. En este sentido, Chile asoma como el “*campeón escondido*” en materia de producción de H₂v, dada su gran capacidad de producción energética a través de fuentes limpias de generación, como las ERNC, que pueden convertirlo en el exportador de H₂v más económico del mundo. Esto si existe voluntad política, una estrategia país que considere todas las ventajas y desventajas a nivel político, económico, socioambiental y cultural. En este sentido, Chile ya cuenta con una Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, reconociéndose varias barreras que podrían entorpecer su desarrollo en el país.

El objetivo de este Proyecto es identificar distintas barreras que podrían afectar el desarrollo del H₂v en Chile a través del análisis de las Estrategias Nacionales de H₂v publicadas por distintos países. Se reconocieron un total de 118 barreras a nivel internacional, 66 de las cuales fueron identificadas por la Estrategia chilena. Finalmente, se proponen 22 medidas para superarlas de forma sostenible, siendo un trabajo que pretende ser de utilidad para tomadores de decisión, desarrolladores de proyectos, mundo académico y público general.

Palabras clave: *Barreras de Entrada, Energías Renovables No Convencionales, Estrategia Nacional, Hidrógeno Verde.*

SUMMARY

H₂v emerges as an energy source that does not release Greenhouse Gas during its production or use, which would help humanity mitigate the effects of climate change. In this way, Chile emerges as the hidden champion in terms of H₂v production, because given its immense capacity to produce energy through Non-Conventional Renewable Energy Sources, it could become the cheapest H₂v exporter on the planet. This is if it is proposed and, given this, the National Green Hydrogen Strategy has already been published, recognizing several entry barriers capable of hindering the development of this industry in the country.

The objective of this Degree Project is to identify different barriers that could affect the development of H₂v in Chile through the analysis of the National H₂v Strategies published by different countries. A total of 118 barriers were recognized at the international level, of which 66 were identified by the Chilean Strategy. Finally, 22 measures are proposed to overcome them in a sustainable way, being a work that aims to be useful for decision makers, project developers, the academic world and the general public.

KEY WORDS: *Barriers to Entry, Green Hydrogen, National Strategy, Non-Conventional Renewable Energy.*

1. INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado de combustibles fósiles generados por actividades humanas ha incrementado las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO₂), provocando un desequilibrio en dichos gases, aumentando el efecto invernadero y, por consiguiente, la temperatura global del planeta. Lo anterior es responsable de provocar variaciones en el clima con el subsecuente aumento de los eventos meteorológicos extremos, efecto conocido como Cambio Climático (IPCC, 2014a). Si bien la pandemia causada por Covid-19 disminuyó las emisiones de GEI en distintas ciudades, producto de las medidas restrictivas y de confinamiento adoptadas por los distintos países, éstas volvieron a aumentar con la reactivación económica (KUMAR *et al.*, 2022). Por lo anterior, es necesario un cambio en el modelo de desarrollo, tal como lo han sugerido diversos autores (HE *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2022) y, más recientemente, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (BORDERA *et al.*, 2021).

Para que la temperatura promedio del planeta no sobrepase en 1,5°C la temperatura preindustrial, las emisiones antrópicas de CO₂ tendrían que alcanzar el cero neto o “*carbono neutralidad*” al 2050 (IPCC, 2018). Por lo mismo, muchos países han fijado ambiciosos objetivos para disminuir sus emisiones de GEI, y entre las urgentes medidas, el hidrógeno verde (H_{2v}) aparece como una alternativa factible para ayudar a reducirlos (IEA, 2019).

Actualmente el hidrógeno se produce a nivel industrial desde combustibles fósiles, emitiendo a la atmósfera gran cantidad de GEI. Por el contrario, el H_{2v} se genera a partir de energías con nula o baja emisión de GEI (IEA, 2019), y su producción por electrólisis desde diferentes tipos de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) ofrece importantes beneficios socioambientales.

Entre las ventajas del H_{2v} destacan su uso como transporte energético, en estado líquido o gaseoso, y como vector energético, transformándose posteriormente en electricidad, metano o combustible. Su uso disminuiría la emisión de GEI, descontaminaría el aire y descarbonizaría sectores en los que hasta ahora ha sido difícil reducir emisiones; como el transporte de carga y la industria química (IEA, 2019).

Aunque actualmente la producción de H_{2v} tiene altos costos, estos podrían disminuir en un 30% para el año 2030 debido a menores precios de las ERNC y

a la producción de H₂v a gran escala. Por lo anterior, y a pesar de la ausencia de normas internacionales que regulen la materia, cada vez más empresas y gobiernos están dispuestos a estudiar e invertir en pro del desarrollo tecnológico del H₂v (IEA, 2019).

El alto potencial de generación eléctrica a partir de ERNC que tiene Chile lo podría transformar en el productor y exportador de H₂v más económico y sustentable del mundo, oportunidad que es recogida por la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde publicada en noviembre del año 2020, en donde uno de sus objetivos es producir el hidrógeno más económico al año 2030 (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a).

Por todo lo anterior, el presente Proyecto de Grado pretende ser un insumo que contribuya al desarrollo sostenible de esta tecnología en Chile. A través de una revisión bibliográfica y aplicando una metodología teórico descriptiva se evaluarán las oportunidades que ofrece el desarrollo tecnológico del H₂v en el mercado energético nacional y sus potenciales barreras de entrada, proponiéndose, además, acciones que contribuyan a una gestión ambiental para garantizar su desarrollo sostenible. Este trabajo será útil para tomadores de decisión, desarrolladores de proyectos en H₂v, mundo académico y público en general.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar las oportunidades que ofrece la producción de Hidrógeno verde en Chile, sus potenciales barreras de entrada al mercado energético nacional y proponer acciones que contribuyan a una gestión ambiental que garantice su sostenibilidad.

2.2. Objetivos específicos

2.2.1. Describir las posibles oportunidades que significaría para el país la producción de H₂v.

2.2.2. Identificar potenciales barreras de entrada para el desarrollo tecnológico del H₂v en el mercado energético nacional.

2.2.3. Identificar los distintos componentes económicos, técnicos, jurídicos, de mercado, culturales, geográficos, ambientales y sociales que originan las barreras de entrada.

2.2.4. Proponer acciones que contribuyan a la gestión ambiental de las barreras propuestas, de tal modo de fortalecer el desarrollo sostenible del H₂v, en cada una de sus etapas dentro de la cadena de valor en Chile.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los fenómenos climáticos alrededor del mundo están experimentando cambios en su comportamiento producto de las emisiones antrópicas de GEI, donde la generación y el uso de la energía representan la principal fuente de emisión (VÁSQUEZ *et al.*, 2019). La comunidad mundial ha sopesado los pros y los contras de esta problemática, generando acuerdos internacionales para reducir la emisión de GEI. Así, la producción de hidrógeno desde energías renovables y su uso en el sector energético se posicionan como promisorias soluciones tecnológicas globales, y especialmente en Chile, que posee un enorme potencial para desarrollar proyectos de ERNC y, en base a estas, producir H₂v.

3.1. Concepto de energía y sus clasificaciones

La energía es la capacidad de los cuerpos para generar trabajo, pudiendo manifestarse de diferentes formas (mecánica, térmica, química, eléctrica,

magnética, metabólica, lumínica, sonora, nuclear, radiante, entre otras), las cuales pueden transformarse entre sí (ITC, 2008).

Según su disponibilidad, la energía puede clasificarse en (GUMPTA, 2014):

- Energías Renovables, aquellas energías que se renuevan periódicamente de forma natural en una escala humana, por lo que son consideradas como inagotables. Entre ellas se encuentran las energías provenientes de fuentes como el agua continental, el mar, solar, eólica, geotérmica y biomasa.
- Energías No Renovables, aquellas que se encuentran en la naturaleza y cuyo proceso de formación es demasiado lento para su renovación, siendo consideradas como finitas. En este tipo se encuentran los combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural, que al ser sometidos a reacciones de combustión generan calor y GEI.

Según su utilización, la energía se puede clasificar en (KHALIGH y ONAR, 2015):

- Energía Primaria, la cual se encuentra disponible o almacenada directamente en la naturaleza, como es el caso de los combustibles fósiles y las energías renovables.

- Energía Secundaria, que se obtiene desde la energía primaria por procesos de conversión energética. Ejemplos de este tipo son la electricidad, la gasolina o el hidrógeno (WINTER, 2009).

3.2. Crecimiento en la demanda energética

El comienzo de la revolución industrial marcó el inicio de un consumo “*in crescendo*” de energía, demandando a su vez una mayor capacidad de generación. Aumentos explicados por el desarrollo tecnológico y por el crecimiento de la población mundial. A su vez, la expansión en el uso de la electricidad a finales del siglo XIX incrementó aún más la demanda energética, debido a sus importantes ventajas, como rápida transformación en luz, calor, frío, movimiento, entre otras. Sin embargo, la generación de la energía necesaria para satisfacer esta creciente demanda fue dependiente de los combustibles fósiles, los cuales a través de sus procesos de combustión emiten grandes cantidades de GEI a la atmósfera, como el CO₂. Entonces, el incremento en la generación energética a lo largo de la historia ha ido acompañado del aumento global de la contaminación atmosférica por GEI, favoreciendo y potenciando en la actualidad el fenómeno conocido como efecto invernadero (KHALIGH y ONAR, 2015).

3.3. Efecto invernadero y Gases de Efecto Invernadero

La temperatura global del planeta es el resultado del equilibrio entre la radiación solar absorbida, por los componentes terrestres y atmosféricos, y la radiación infrarroja emitida de regreso hacia el espacio exterior, escenario en que la temperatura promedio del planeta sería de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, la temperatura promedio registrada en la superficie terrestre es de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, la cual se explica por el fenómeno conocido como efecto invernadero (MORON, 2013).

De la mezcla de gases que conforman la atmósfera, menos del 1% de su volumen es ocupado por GEI, los cuales tienen la capacidad de absorber con gran eficiencia la radiación infrarroja y de volverla a emitir, calentando de este modo la superficie terrestre, provocando así el efecto invernadero (MORON, 2013).

Entre los GEI se encuentran el vapor de agua, el CO_2 , el metano, el óxido nítrico y el ozono, los cuales son emitidos por distintas actividades humanas que queman combustibles fósiles. No obstante, la emisión cada vez mayor de estos GEI de origen antrópico ha permitido su acumulación en la atmósfera,

acentuando el efecto invernadero y aumentando la temperatura global del planeta (MORON, 2013).

3.4. Cambio Climático

El efecto invernadero propiciado por las actividades humanas ha incrementado rápidamente la temperatura global de la Tierra, provocando cambios en el clima y un aumento de los eventos meteorológicos extremos, que a su vez amenazan a los sistemas sociales, económicos y ambientales, que no han sido capaces de adaptarse al mismo ritmo. Esta variación global del clima se conoce como “*cambio climático*” (IPCC, 2014b). En este contexto, el año 1988 se creó el IPCC, con el objetivo de evaluar las causas del cambio climático, sus potenciales efectos y proponer estrategias de respuesta (IPCC, 2020).

Las conclusiones del IPCC son alarmantes, señalando que si sigue aumentando la temperatura de la Tierra algunos cambios podrían ser repentinos e irreversibles, como un aumento en el nivel del mar y pérdidas significativas en la biodiversidad. Y más aún, ya se observan los efectos del cambio climático en todos los rincones de la tierra, por lo que urge reducir de manera fuerte y sostenida la emisión de GEI a la atmósfera (IPCC, 2021). En este sentido, los

países en desarrollo serían los más afectados, porque debido a su menor capacidad técnica, institucional y económica, tendrían mayor dificultad para enfrentar y adaptarse a los efectos generados por el cambio climático (IPCC, 2018).

El IPCC ha estimado que las actividades humanas han provocado un incremento de 1,0 °C en la temperatura global de la Tierra en relación a los niveles preindustriales, época en que se intensificó el uso de combustibles fósiles. Además, ha proyectado un incremento de 1,5 °C entre los años 2030 y 2055 si el calentamiento continúa aumentando al ritmo actual (IPCC, 2018). Y ante estos escenarios hay dos estrategias posibles: la adaptación y la mitigación. La adaptación implica a las medidas que disminuyen los riesgos para el sistema natural y antrópico frente a los impactos derivados del cambio climático, pero tiene una efectividad limitada para impactos de mayor magnitud. La mitigación se refiere a las políticas, tecnologías y medidas que limitan y reducen las emisiones de GEI o que mejoran su capacidad de absorción (IPCC, 2014b; MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2014).

3.5. Acuerdos internacionales y emisión de GEI

Conscientes de que los efectos adversos provocados por el cambio climático eran una preocupación internacional común y que las actividades humanas eran las causantes del incremento sostenido de las concentraciones de los GEI en la atmósfera, los cuales intensificaban el efecto invernadero y generaban un incremento en la temperatura global de la Tierra, distintos países adoptaron el 9 de mayo de 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). Su objetivo era y es lograr *“la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antrópicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”* (NACIONES UNIDAS, 1992).

La CMNUCC incorporó en 1997 el *“Protocolo de Kyoto”*, el cual entró en vigor el año 2005 y donde las partes firmantes se comprometían a reducir la emisión de GEI entre los años 2008-2012 (NACIONES UNIDAS, 1997), posteriormente

extendido por otro período, entre los años 2013 y 2020 (NACIONES UNIDAS, 2012).

El 2015, la CMNUCC redactó un nuevo acuerdo, el “*Acuerdo de París*”, cuyo objetivo principal es “*mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a sólo 1,5°C, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático*” (NACIONES UNIDAS, 2015). Este acuerdo comenzaría a regir una vez finalizado el “*Protocolo de Kyoto*”, incentivando a todas las naciones firmantes a realizar esfuerzos aún más ambiciosos para combatir el cambio climático.

3.6. Medidas recomendadas para disminuir la emisión de GEI

Según datos del IPCC (2018), las emisiones antrópicas globales de CO₂ deberán reducirse un 45% al año 2030 con respecto a las emisiones del 2010, para que la temperatura del planeta no sobrepase los 1,5°C, debiendo ser iguales a cero en el 2050. Para cumplir estos requerimientos deberán ocurrir transiciones rápidas de tecnologías en el sistema energético, industrial, terrestre, urbano y de infraestructuras, que impliquen grandes reducciones en sus emisiones.

Para alcanzar esta transición en el sector energético, es necesario: incentivar el menor uso de la energía, principalmente mediante la eficiencia energética; mayor rapidez en la electrificación de los sistemas, es decir, que el uso final de la energía sea la electricidad; utilizar fuentes energéticas bajas en emisiones, donde entre un 70-85% de la generación eléctrica provenga de energías renovables al 2050; y eliminar el uso del carbón en la generación eléctrica al 2050. Junto con lo anterior, también es crucial que los países aseguren la viabilidad política, técnica, social y económica en pro de las ERNC y de las tecnologías de almacenamiento eléctrico (IPCC, 2018).

En el sector industrial, al 2050 se deben disminuir entre un 65-90% de las emisiones de CO₂ en comparación al 2010, mediante combinaciones de prácticas y tecnologías, tales como la electrificación, utilización de hidrógeno, el uso de materias primas biológicas sostenibles, la sustitución de productos y la captura, utilización y almacenamiento de CO₂ (IPCC, 2018).

La transición en el sistema terrestre contempla el incremento en el uso de tierra para cultivos energéticos y para bosques, y la disminución en otros usos. Se debe limitar la demanda de suelo mediante la intensificación sostenible de las prácticas de uso de la tierra, la restauración de ecosistemas y cambios en la conducta alimenticia que generen menor consumo de recursos (IPCC, 2018).

La transición en el sistema urbano y de infraestructuras necesita de cambios reales en la planificación territorial y urbana, contemplando la eficiencia energética en los edificios y la reducción de emisiones en el transporte. En este último caso, el uso de energía final baja en emisiones debería aumentar desde un 5% en el 2020 a entre un 35-65% en el 2050 (IPCC, 2018).

3.7. Principales acciones de Chile respecto del cambio climático

Chile es un país sumamente frágil frente a los efectos del cambio climático, cumpliendo con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad definidos por la CMNUCC: posee áreas costeras de baja altura, zonas áridas y semiáridas, zonas de bosques, territorio susceptible a desastres naturales, áreas propensas a sequía y desertificación, zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica y ecosistemas montañosos (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2017). A su vez, como miembro activo de la CMNUCC, elaboró un Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 para hacer frente a los desafíos que plantean sus impactos en el territorio nacional, centrando sus objetivos en la adaptación, mediante un mayor conocimiento de los efectos del cambio climático que permita planificar acciones que los minimicen, y en la mitigación, generando las condiciones para implementar y cumplir con los compromisos de reducción

de emisiones de GEI propuestos (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2017). Además, Chile cuenta con una “*Ley Marco de Cambio Climático*”, cuyo objetivo es establecer la neutralidad de emisiones de GEI para el 2050 (CHILE, 2022). Y como país firmante del Acuerdo de París, debe cumplir con los compromisos adquiridos en su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), para transitar hacia un desarrollo sostenible. Los NDC son instrumentos que guían la acción climática para detener el aumento de la temperatura promedio global. Chile entregó sus NDC en abril del año 2020 al CMNUCC, incluyendo ambiciosas metas en materia de mitigación de emisiones de GEI (GOBIERNO DE CHILE, 2020), lo que a su vez incentivaría el desarrollo de nuevas tecnologías en el país.

Además, el año 2015 se promulgó la Política Energía 2050: Política Energética de Chile, para avanzar hacia una energía sustentable en todas sus dimensiones. Entre sus objetivos está promover una matriz energética diversificada, renovable y baja en emisiones de GEI, donde una de sus metas al 2050 es que el 70% de la generación eléctrica provenga de Energías Renovables (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2015).

En resumen, Chile ha elaborado distintas medidas para combatir el cambio climático, cuyas metas al año 2050 incluyen ambiciosas reducciones de

emisiones de GEI, alcanzar la carbono neutralidad y promover una matriz energética rica en Energías Renovables.

3.8. ERNC en Chile

De manera particular, Chile clasifica las Energías Renovables en Energías Renovables Convencionales y Energías Renovables No Convencionales (ERNC), diferenciándolas según el grado de desarrollo de las tecnologías que permiten su aprovechamiento, agrupando dentro de las ERNC a todas aquellas con un limitado aprovechamiento comparado con su potencial. Dentro de las Energías Renovables Convencionales, la más importante es la energía hidráulica a gran escala (JIMÉNEZ, 2011), y dentro de las ERNC se encuentran (CHILE, 2007):

- Biomasa y biogás: energía proveniente de materia orgánica y biodegradable que puede ser usada directamente como combustible o convertida en biocombustibles líquidos, sólidos o gaseosos.
- Pequeña hidráulica: centrales hidroeléctricas cuya potencia máxima sea inferior a 20 MW.
- Geotermia: energía proveniente del calor natural del interior de la tierra.

- Solar: energía obtenida de la radiación solar.
- Eólica: energía cinética del viento.
- De los Mares: cualquier forma de energía mecánica producida por el movimiento de las mareas, olas, corrientes y por el gradiente térmico de las aguas marinas.

Como respuesta a la Política Energía 2050: Política Energética de Chile, la cantidad de proyectos de generación energética a través de ERNC han experimentado un importante crecimiento en los últimos años (CNE, 2019). Incremento que será aún más vertiginoso porque durante la Conferencia de las Partes desarrollada en Madrid (COP 25), el Ministro de Energía de Chile se comprometió a alcanzar el 70% de participación de ERNC en la generación eléctrica al año 2030, acortando el plazo original de esta meta que estaba fijada para el 2050 (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2019).

Entonces, como las metas relacionadas con la emisión de GEI ahora se han vuelto mucho más ambiciosas y, sabiendo que el sector energético chileno genera el 78% del total de las emisiones del país (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 2018), la descarbonización de los sectores de generación eléctrica, de calefacción, de transporte y de la industria juega un papel fundamental (FICHTNER GMBH & CO. KG *et al.*, 2020). Así, la incorporación de nuevas

tecnologías, como la utilización masiva de Hidrógeno obtenido desde energías limpias, serían claves para el cumplimiento de estas metas (IEA, 2019).

3.9. Hidrógeno

El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido e inflamable, que en la naturaleza no se encuentra libre en su forma molecular, debiendo ser producido desde fuentes primarias de energía, por lo que corresponde a un tipo de energía secundaria. Una vez obtenido, el hidrógeno puede tener distintos usos: como materia prima en la industria para la fabricación de amoníaco, producción de metales, refinación de petróleo, entre otros; como combustible para ser quemado para la generación de calor o para producir movimiento en motores de combustión, en forma individual o mezclado con combustibles fósiles; como vector energético, generando electricidad a partir de celdas de combustible (BACON, 1960; WINTER, 2009) para suministrar energía a pequeños dispositivos electrónicos, en procesos industriales o a vehículos eléctricos terrestres, marinos o aéreos; para el almacenamiento a largo plazo de energía, a pequeña o a gran escala (LÓPEZ *et al.*, 2015; PREWITZ *et al.*, 2020; VÁSQUEZ *et al.*, 2019).

El hidrógeno se puede obtener desde una gran variedad de compuestos utilizando diferentes procesos (VÁSQUEZ *et al.*, 2019), los cuales se pueden clasificar en:

- **Termoquímicos:** procesos que usan calor y reacciones químicas para obtener hidrógeno desde combustibles fósiles o biomasa, con liberación de CO₂. Aquí, el método más empleado es el reformado por vapor, en el cual se pueden utilizar distintos hidrocarburos en presencia de vapor de agua a alta temperatura, para generar hidrógeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono.
- **Electrolíticos:** utilizan la electricidad para disociar la molécula de agua y obtener hidrógeno y oxígeno, en un proceso conocido como electrólisis (BACON, 1960).
- **Biológicos:** algunas bacterias y algas pueden descomponer el agua y producir hidrógeno a través de sus procesos metabólicos (LERTSRIWONG y GLINWONG, 2020).
- **Otros:** que se encuentran en investigación y desarrollo, como los procesos fotocatalíticos, que utilizan la incidencia de rayos solares sobre

semiconductores para generar una corriente local que descompone la molécula de agua en hidrógeno y oxígeno.

Actualmente más del 95% de la producción mundial de hidrógeno proviene desde combustibles fósiles, con la consecuente emisión de grandes cantidades de CO₂ a la atmósfera, y sólo cerca del 4% es producido por electrólisis (IRENA, 2018).

Dependiendo de la materia prima empleada y del impacto ambiental generado por la emisión de GEI, el hidrógeno producido se clasifica en diferentes colores, siendo los principales de ellos (FICHTNER GMBH & CO. KG *et al.*, 2020):

- **Hidrógeno gris**, cuya producción emite GEI al ser generado a través de métodos que utilizan combustibles fósiles o a través de electrólisis, en donde la electricidad necesaria para la reacción proviene desde generadoras dependientes de combustibles fósiles.
- **Hidrógeno azul**, cuya producción también es dependiente de combustibles fósiles, pero contempla el uso de sistemas de captura y almacenamiento de carbono, que en su conjunto permiten que el proceso global sea considerado carbono neutral.

- **Hidrógeno verde (H₂v)**, el cual se obtiene a través de la electrólisis del agua utilizando electricidad proveniente de fuentes renovables, principalmente hidráulica, solar y eólica, sin generar emisiones de GEI (WINTER, 2009).

En la actualidad, para satisfacer la demanda industrial, se produce casi exclusivamente hidrógeno gris. Sin embargo, debido a las metas mundiales de descarbonización se está apostando por el desarrollo del hidrógeno azul y del H₂v, para los usos actuales y en nuevas aplicaciones (FICHTNER GMBH & CO. KG *et al.*, 2020). Como el hidrógeno es más energético que otros combustibles (1 kg de hidrógeno tiene casi tres veces más energía que 1 kg de gasolina), pudiéndose transportar y almacenar, se proyecta que su demanda se incrementará producto de su uso cada vez mayor en el transporte, reemplazando así el uso de combustibles fósiles (VÁSQUEZ *et al.*, 2019).

3.10. Hidrógeno Verde

Dentro de las muchas ventajas que ofrece el H₂v es que se puede producir por electrólisis desde diferentes tipos de ERNC; transportar en estado gaseoso o líquido por largas distancias; transformar en electricidad, gas metano y

combustible para distintos medios de transporte; y utilizar como almacén de energía a largo plazo. Entonces, su uso a gran escala permitiría la disminución en la emisión de GEI, descontaminando el aire y descarbonizando sectores en los que hasta ahora ha sido difícil reducir emisiones, tales como: transporte de carga, transporte de larga distancia (marítimo y aéreo) y la industria química (FICHTNER GMBH & CO. KG *et al.*, 2020; IEA, 2019; PREWITZ *et al.*, 2020; WINTER, 2009).

Actualmente, la producción de H₂v es muy costosa y se encuentra en fase de exploración en cuanto a su tecnología. Sin embargo, se ha estimado que para el 2030 estos costos podrían disminuir en un 30%, producto de menores costos de las ERNC y por la producción de H₂v a gran escala. Por lo anterior, cada vez son más las empresas y gobiernos dispuestos a invertir en pro del desarrollo tecnológico del H₂v (IEA, 2019). En este mismo sentido, hasta el año 2020, 18 países contaban o estaban elaborando hojas de ruta para direccionar la transición energética hacia el mercado del H₂v (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020c).

Hay países que a pesar de orientar su mercado para la producción de H₂v, la demanda interna no alcanzará a satisfacer sus necesidades energéticas, por lo que deberán importarlo, como lo señala Alemania (FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND ENERGY, 2020) y Japón (THE MINISTERIAL

COUNCIL ON RENEWABLE ENERGY, HYDROGEN AND RELATED, 2017) en sus Respectivas Estrategias Nacionales. Otros, tendrán la capacidad de producir H_{2v} y de generar excedentes para destinar a exportación, como sería el caso de Australia (COAG ENERGY COUNCIL, 2019) y de Chile (GALLARDO *et al.*, 2021; MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020b), en donde el mercado asiático asoma como un importante objetivo económico.

3.11. H_{2v} en Chile

El año 2019 Chile fue catalogado como el segundo país más atractivo para la generación de proyectos ERNC (BLOOMBERGNEF, 2019), lo que se ve ratificado por el crecimiento sostenido en la incorporación de este tipo de proyectos en la matriz energética nacional (CNE, 2019). Así, Chile no sólo destaca por su enorme potencial para la producción de H_{2v} por electrólisis, en cantidades necesarias para satisfacer su demanda energética interna y para exportar a precios competitivos (GALLARDO *et al.*, 2021), sino que también porque se podría transformar en el productor de H_{2v} más económico del mundo (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020c), siempre y cuando exista un objetivo estratégico a nivel de país.

Dentro de las distintas oportunidades que tendría la producción de H₂v en Chile, el Ministerio de Energía (2020b) proyecta que para el 2050 Chile podría: producir 25 millones de toneladas de H₂v al año, correspondiendo al 5% de la demanda mundial de hidrógeno y al 1% de la demanda global de energía; generar acuerdos comerciales para exportar el 50% del H₂v demandado por Japón y Corea del Sur, y el 20% de la demanda China; y generar ingresos anuales totales por más de 30 mil millones de dólares.

Por lo anterior, el Ministerio de Energía se ha propuesto facilitar el desarrollo del mercado energético del H₂v como parte de sus objetivos de cero emisiones (CENTRO DE ENERGÍA UC, 2020) y por su enorme potencial de desarrollo económico (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020c), razón por la que actualmente trabaja en una propuesta de Estrategia Regulatoria para Hidrógeno, que podría traducirse en Reglamentos en el año 2023 (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020b). Además, a través de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), el 2021 seleccionó seis proyectos de producción de H₂v para ser apoyadas con cofinanciamiento para acelerar el desarrollo de esta industria en el país (CORFO, 2021).

La potencial producción masiva de H₂v en Chile requiere la redacción de una regulación clara que proporcione certeza jurídica, que resguarde la salud de la población y garantice la protección ambiental (CENTRO DE ENERGÍA UC,

2020). Al mismo tiempo, es crucial la identificación de barreras de entrada, las cuales se pueden definir como costos o impedimentos de diverso tipo (institucionales, económicas, sociales, entre otros) que retrasan o inhiben la difusión e inversión de nuevas tecnologías (MARTINOT y MCDOOM, 2000). Y, en este caso, podrían entrapar tanto la producción de H₂v a gran escala en el mercado energético chileno como su potencial exportación. Así, se hace imperativo reconocerlas y proponer medidas de gestión ambiental que permitan subsanarlas al mismo tiempo de salvaguardar su sostenibilidad.

3.12. Reactivación económica post pandemia

Distintos estudios demostraron que la pandemia provocada por la Covid-19 disminuyó las emisiones de GEI y de sus concentraciones atmosféricas en distintas ciudades, producto de las medidas restrictivas y de confinamiento que afectaron a todos los sectores económicos. Sin embargo, esta disminución no fue sostenible en el tiempo y los GEI volvieron a aumentar con el fin de las restricciones impuestas y con la reactivación económica (AGRAWALA *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2022).

La rapidez en la disminución de las emisiones de GEI producto de las restricciones en la actividad económica demuestra cuán rápido se pueden mejorar las condiciones ambientales (AGRAWALA *et al.*, 2020). Lo anterior, observado por científicos y distintas asociaciones, han permitido sugerir una reactivación económica post pandémica sostenible, que reemplace el actual modelo de desarrollo basado en combustibles fósiles por una economía del hidrógeno (COMISIÓN EUROPEA, 2020; WELLS *et al.*, 2011).

Considerando lo anterior, Chile ha apostado por el camino de la sostenibilidad, agregando a sus políticas de desarrollo económico importantes requisitos de descarbonización que van de la mano con sus compromisos NDC adquiridos en el Acuerdo de París (GOBIERNO DE CHILE, 2020). Por lo tanto, en este punto la carbono neutralidad de la matriz energética adquiere un papel clave y el H₂v aparece como un importante aliado, razón por la cual el Gobierno elaboró la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde buscando desarrollar su explotación en el mercado nacional (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a).

3.13. Estrategia Nacional de H₂v

En noviembre del año 2020 fue presentada la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a), que sentó las bases para el desarrollo de esta industria en el país, apuntando a dos objetivos principales:

- 1) Contar con 5 GW de capacidad de electrólisis en desarrollo al 2025
- 2) Producir el hidrógeno verde más económico en el año 2030

La consecución de estos objetivos contempla tres etapas de desarrollo. La primera, a implementarse entre los años 2020 y 2025, buscará activar la industria del H₂v mediante la creación de un mercado local en seis aplicaciones prioritarias para Chile: uso en refinerías, amoníaco doméstico, camiones mineros, camiones pesados de ruta, buses de larga autonomía e inyección en redes de gas (hasta un 20%). Para este fin, se buscarán mecanismos que incentiven la oferta y la demanda del H₂v y sus derivados. Así, mediante la creación de un mercado de H₂ doméstico se generará el conocimiento, la infraestructura y las cadenas de suministro necesarias para que el país acceda a mercados de exportación.

Al 2025 se aspira a ser el país con mayores inversiones en proyectos de H₂v en Latinoamérica, contar con una capacidad de electrólisis de 5 GW y producir un total de 20 Kton/año de H₂v en dos polos de desarrollo bien diferenciados, uno en el norte y otro en el sur.

La segunda etapa, entre los años 2025 y 2030, pretende producir amoníaco verde nacional al mismo tiempo que se sigue impulsando la producción de H₂v. Esto abrirá las puertas para el desarrollo de la exportación, lo que debe ser apalancado a través de la firma de contratos de largo plazo con países importadores. Así se consolidará la participación de Chile dentro de las transacciones globales de H₂ y sus derivados, lo que a su vez impulsará las inversiones porque se crearán certezas en la oferta y la demanda (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a). Para el año 2030, el mercado del H₂v tendrá un tamaño estimado de 2,5 mil millones de dólares para exportaciones chilenas (MCKINSEY & COMPANY, 2020); escalables a unos 25 billones de dólares para el 2050.

Por lo tanto, al 2030 Chile aspira a transformarse en líder global de la exportación de H₂v y sus derivados, ofrecer el H₂v más económico del mundo (menor a 1,5 USD/Kg) y ser el mayor productor de H₂v por electrólisis (25 GW).

La tercera etapa, proyectada para después del año 2030 y fundamentada en la premisa de que las medidas internacionales de descarbonización se harán más estrictas y ambiciosas con el transcurso de los años, buscará aprovechar el

crecimiento del mercado de exportación y de su diversificación. Esto último debido a los nuevos desarrollos tecnológicos que podrían incluir el uso de amoníaco verde en el transporte marítimo y de combustibles sintéticos verdes en el transporte aéreo, que permitirían a Chile posicionarse como proveedor líder de energéticos limpios (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a).

La Estrategia apunta a una industria del Hidrógeno respetuosa con los territorios y el ambiente, incorporando un mejor diálogo con las comunidades y cuidando especialmente el uso responsable del agua. Además, se desea incorporar el H₂v y sus derivados en aquellos sectores y aplicaciones donde puedan mitigar las emisiones de manera costo-eficiente.

El gobierno, a través de CORFO (CORFO, 2021), destinó 50 millones de dólares para financiar proyectos de H₂v, buscando reducir los costos de producción, que actualmente varían entre 2,5 a 6 USD/KgH₂ (IEA, 2019), y tender a un valor menor a 1,5 USD/KgH₂ al 2030. Al mismo tiempo, se estudiarán mecanismos para igualar las condiciones de competitividad entre este energético limpio y los combustibles fósiles, de manera de acelerar el desarrollo del H₂v en suelo nacional.

Como la ley 19.300 no dictamina que los proyectos de producción de H₂v deban someterse al SEIA, se estableció que la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) sea la encargada de tramitar la entrega de permisos

especiales para proyectos piloto de H₂ y de sus nuevas aplicaciones. Para este fin, los interesados deberán presentar una solicitud de autorización siguiendo una “*Guía de Apoyo para Solicitud de Autorización de Proyectos Especiales de Hidrógeno*” (SEC, 2021), publicada en mayo del año 2021. Con este permiso, las instalaciones del proyecto podrán cumplir con la reglamentación vigente.

Desde que entró en vigencia la solicitud de permisos, seis habían sido autorizados a diciembre del 2022 (SEC, 2022): Proyecto especial de generación y consumo de H₂, de Ecombustible products LLC, ubicado en la Región de Antofagasta; Proyecto especial de suministro de grúas horquillas, de Engie Gas Chile SpA, ubicado en la Región Metropolitana; Proyecto especial de planta de hidrógeno para suministro de grúa horquilla y generación de energía eléctrica, de Anglo American Sur S.A, ubicado en la Región Metropolitana; Proyecto especial de producción, almacenamiento y mezcla de hidrógeno, de GasValpo SpA, ubicado en la Región de Coquimbo; Proyecto especial experimental de instalación de gas para mezcla de hidrógeno con gas licuado/gas natural, de la Pontificia Universidad Católica de Chile, ubicado en la Región Metropolitana; y Proyecto especial pilotaje de tecnología de hidrógeno verde para abastecimiento energético de campamento minero, de Centro Nacional de Pilotaje de Tecnologías para la Minería y Minera San Pedro S.A., ubicado en la Región Metropolitana.

Ya transcurridos tres años desde la publicación de la Estrategia, el país se encuentra en las etapas iniciales del fomento del H₂v, con proyectos piloto y demostrativos aún en desarrollo.

Aquellos proyectos que contemplan la producción de H₂v utilizando electricidad generada en una central propia, deben ingresar al SEIA si la energía generada es superior a 3 MW (CHILE, 1994). A la fecha, de tres proyectos presentados, sólo dos han sido aprobados:

- 1) El “Proyecto Piloto de Descarbonización y Producción de Combustibles Carbono Neutral” de HIF Chile SpA, con un monto de inversión de 38 millones de dólares y consiste en una planta química para la producción de Metanol y Gasolina verdes a partir de CO₂ e H₂ en la comuna de Punta Arenas. Contempla la generación de electricidad desde un aerogenerador de 3,4 MW de potencia máxima (SEA, 2021a).

- 2) El proyecto “HyEx - Producción de Hidrógeno Verde” de Engie LATAM S.A, obtuvo su Resolución de Calificación Ambiental favorable el 27 de abril del 2022. Contempla un monto de inversión de 47 millones de dólares y consiste en la construcción de una planta generadora de H₂ a 25 Km de Tocopilla, de una potencia instalada de 26 MW y que alimentará la operación de una planta de amoníaco verde contigua (SEA, 2021b)

En resumen, a diciembre del 2022, existían dos proyectos de H₂v autorizados por el SEA y seis con permisos especiales autorizados por la SEC. Tomando en consideración los 5GW de capacidad de electrólisis en generación que deben estar construidos y en desarrollo para el 2025, y los 25 GW para el 2030 (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a), urge fomentar la inversión en este tipo de proyectos, por lo que la disminución de las barreras de entrada de la industria del H₂v en el mercado energético nacional, las cuales generan incertidumbre regulatoria, financiera y técnica, adquiere un papel fundamental. Y en este sentido, la Estrategia define al Estado como el encargado de identificar y resolver dichas barreras en pro del cumplimiento de los objetivos en ella planteados.

3.14. Barreras de Entrada

Chile es un país propicio para el desarrollo del H₂v debido a su variada geografía que favorece la explotación de ERNC: alcanzando los niveles de radiación solar más altos del planeta en la zona norte, con vientos en la zona sur que soplan con la misma energía en tierra que en el mar (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a) y con enormes potenciales en energía geotérmica, por localizarse en el Cinturón de Fuego del Pacífico, y en energía de los mares, por sus extensas costas. Sin embargo, existen diferentes barreras de entrada que podrían dificultar el desarrollo del H₂v y de su penetración en el mercado energético nacional (NASIROV *et al.*, 2015).

Por barreras de entrada se entienden las condiciones o factores de diferente tipo que dificultan el ingreso y expansión de nuevos participantes en un mercado (FERNÁNDEZ-BALBUENA, 2008), y pueden clasificarse en las siguientes cuatro categorías generales (NASIROV *et al.*, 2015):

3.14.1. Barreras institucionales y regulatorias. Aquellas que se originan por la ausencia de un marco legal y regulatorio claro para el desarrollo de un nuevo actor. Dentro de esta categoría se podrían incluir la falta de una política energética estable o la ausencia de políticas que integren el H₂v con el mercado global, por ejemplo.

3.14.2. Barreras económicas y financieras. Estas barreras resultan críticas para la industria del H₂v debido a sus altos costos de inversión, largos períodos de amortización y mayor riesgo debido a las incertidumbres tecnológicas y de la variabilidad de las fuentes de generación eléctrica. Estas particulares características dificultan su acceso a fuentes de financiamiento por carecer de garantías.

3.14.3. Barreras técnicas y de infraestructura. Tratan de los requisitos y estándares que varían entre los diferentes países. Debido a la naturaleza de la nueva industria, se requiere un alto nivel tecnológico y de infraestructura para su funcionamiento óptimo.

3.14.4. Barreras de información, participación y conciencia pública.

Estas barreras son un obstáculo importante para el despliegue del H₂v en muchos países, principalmente porque provocan desconocimiento sobre los beneficios ambientales y económicos de los proyectos, desconocimiento sobre las tecnologías empleadas y fuerte oposición pública debido a los impactos ambientales y a la falta de consulta entre las comunidades locales.

Estas diferentes barreras pueden actuar en conjunto o por sí solas para impedir la llegada del H₂v y ralentizar su expansión dentro del mercado energético chileno. Para superarlas, en la estrategia de desarrollo del H₂v, se debe considerar diferentes medidas, tales como: facilitar la inversión, facilitar la tramitación de los proyectos, dar mayor certeza jurídica a los inversionistas y mejorar la participación ciudadana para evitar la judicialización de los proyectos. Todo lo anterior de la mano con la búsqueda constante de la celebración de acuerdos internacionales para asegurar la oferta y la demanda del H₂v.

3.15. Cadena de Valor del H₂v

La cadena de valor del H₂v consta de una serie de etapas que van desde la producción de electricidad hasta el consumo del H₂v (Figura 1). Más específicamente estas etapas incluyen: (1) producción de electricidad renovable; (2) electrólisis de H₂O, que normalmente incluye compresión y almacenamiento local; (3) acondicionamiento (licuefacción de H₂) o transformación en derivados, como amoníaco, metanol, combustibles sintéticos, entre otros; (4) transporte nacional y/o internacional; (5) eventual reconversión de derivados a H₂ en el sitio de destino. Hay otras etapas que funcionan como auxiliares dentro de la cadena de valor, las cuales son: (a) suministro de agua para el proceso de electrólisis, ya sea agua dulce purificada o agua de mar desalada; (b) suministro de energía para la licuefacción o la producción y suministro de nitrógeno (N₂) para síntesis de amoníaco, o el suministro de CO₂ para la síntesis de derivados. Después del transporte al lugar de destino, los derivados del hidrógeno pueden utilizarse como combustibles o materias primas, o pueden reconvertirse en hidrógeno gaseoso (GIZ *et al.*, 2021).

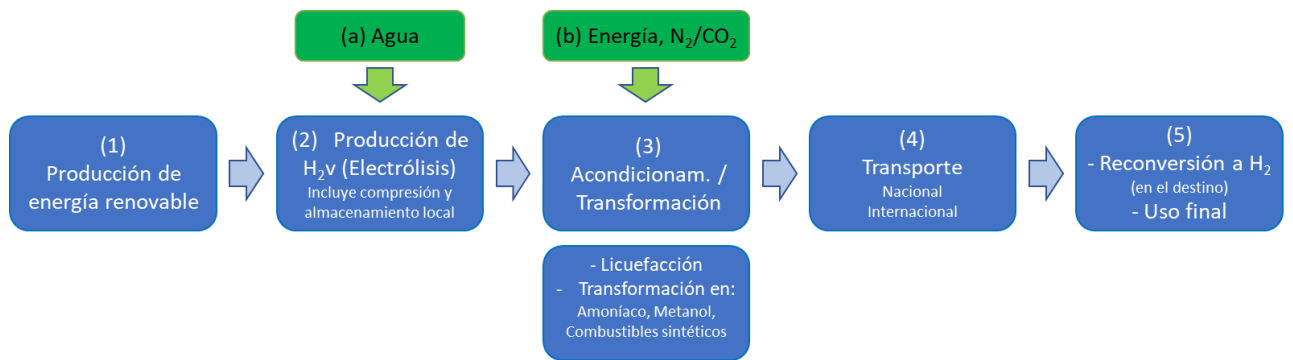


Figura 1: Cadena de valor del H₂V. En celeste las cinco etapas principales y en verde las dos etapas auxiliares (modificado de GIZ *et al.*, 2021).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Identificación de las oportunidades que ofrece el mercado del H₂v

Las oportunidades ofrecidas por la incorporación del H₂v dentro de la economía mundial se identificaron a través de la lectura de documentos publicados por: organizaciones internacionales, como la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA, por sus siglas en inglés) y el IPCC (IEA, 2019; IPCC, 2022; IRENA, 2022); por el mundo científico (BALL y WIETSCHEL, 2009); y por la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a). Estas oportunidades se describen en el capítulo Resultados.

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a) fue utilizada para identificar aquellas oportunidades exclusivas para Chile, como país que pretende posicionarse como exportador de H₂v.

4.2. Identificación de Barreras para el desarrollo del H₂v

Se buscó exhaustivamente en la web aquellos países que contaban con una estrategia nacional específica para el desarrollo del H₂v, registrando para tales efectos 22 naciones y una comunidad de países (Comunidad Europea) al 31 de diciembre del 2022. En cada uno de ellos, se identificaron las distintas barreras que enfrentaría la incipiente industria del H₂v. A su vez, fueron descartados aquellos documentos en que sólo se menciona un área de desarrollo del H₂, es decir, en la que ésta se aborda de manera muy minuciosa pero no se analizan otras con mayor profundidad. Al mismo tiempo, para resguardar potenciales conflictos de interés respecto al objetivo del presente estudio y/o alejarse de las visiones institucionales, se descartaron todos aquellos documentos carentes de una autoría gubernamental, como los elaborados por asociaciones de empresas, consultoras, estudios jurídicos, investigaciones académicas, entre otros.

Con lo anterior, se construyó una matriz de doble entrada donde en la primera columna se listaron todas las barreras identificadas, y en la primera fila, separados por columnas, se anotaron los nombres de los países analizados. Posteriormente, se identificó con una “X” cada casilla de la matriz en que la

barrera fue identificada, y se realizó una sumatoria en cada una de las filas, resultando en un valor numérico. Para cada barrera se obtuvo un puntaje que varió desde 1 hasta 23, dependiendo de la cantidad de países que identificaron dicha barrera dentro de su Estrategia Nacional. Como el total de documentos gubernamentales relacionados al H₂v fueron 23, se definió arbitrariamente que aquellas barreras con un valor mayor o igual que 12 (identificadas en más de la mitad) eran barreras globales o de importancia mayor, y aquellas con un valor menor a 12 (en menos de la mitad), como barreras locales o de importancia menor. Finalmente, se analizó la “Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde” (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a) de Chile, se identificaron sus barreras y se comparó con los resultados obtenidos en el análisis anterior (Anexo 1).

4.3. Identificación de los distintos componentes económicos, técnicos, jurídicos, de mercado, culturales, geográficos, ambientales y sociales que originan las barreras encontradas.

Una vez identificadas las barreras de entrada para el desarrollo del H₂v en Chile, se determinaron distintas razones potenciales que explicarían su origen. Estas razones fueron clasificadas según su tipo: económico, técnico, jurídico, de mercado, geográfico, ambiental o sociocultural. Brevemente, una vez definida

una barrera de entrada, se buscaba en la bibliografía (GARCÍA *et al.*, 2020; MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a; GIZ *et al.*, 2021; UNIDO, 2021) cuál era la razón de tipo económico que explicaba su aparición y, una vez encontrada, se procedía a identificar. El mismo procedimiento se siguió para todas las razones según su clasificación.

Con lo anterior, se establecieron las razones más repetidas respecto al origen de las barreras de entrada del H₂v al mercado energético nacional, con el fin de buscar posibles soluciones que eliminen la mayor cantidad de barreras.

4.4. Propuesta de medidas de sostenibilidad para superar las barreras identificadas para el desarrollo del mercado del H₂v en Chile.

A través de un análisis bibliográfico (GARCÍA, 2018; ACAR y DINCER, 2019; MINISTERIO DE HACIENDA, 2019; MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a; CORFO, 2021; GIZ *et al.*, 2021; UNIDO, 2021; GARCÍA, 2022) y con los resultados obtenidos en el punto anterior, se logró proponer una serie de medidas para ayudar a superar de manera sostenible las barreras identificadas. Cada una de éstas medidas fueron posteriormente descritas de acuerdo a la realidad nacional.

4.5. Encuesta a expertos

Una vez identificadas las barreras se elaboró una encuesta (Anexo 2) en formato Word la cual fue enviada vía e-mail a un total de 40 expertos sobre ERNC o H₂v, del mundo público o privado. En el correo enviado, se explicitaba que una vez llenados los datos solicitados en la encuesta la enviaran como respuesta por e-mail.

La encuesta fue elaborada de tal forma que su respuesta total no tardara más de diez minutos y contaba de tres secciones bien definidas (Anexo 2):

- 1) La primera sección abordaba las oportunidades del desarrollo potencial del H₂v en Chile, en donde se indicaban cinco oportunidades y el experto debía puntuar, en cada una, “1” si estaba en desacuerdo, “2” si estaba medianamente de acuerdo y “3” si estaba muy de acuerdo. Posteriormente se promediaron los puntajes obtenidos para cada una de las oportunidades y se ordenaron de la más importante a la menos importante según los expertos.

2) La segunda sección buscaba identificar aquellas barreras de mayor impacto para el desarrollo del H₂v en Chile. Para esto, se elaboró un listado de cinco barreras con los mayores puntajes para las categorías de tipo “económicas y financieras”, cinco para las de tipo “técnicas y de infraestructura” y cinco para las “institucionales y regulatorias”. En el caso de las barreras de “información y conciencia pública”, se tomaron cinco de ellas que tendrían un mayor impacto para la realidad nacional. Frente a este listado, el experto debía puntuar cada barrera con un “1” si la consideraba nada importante, con “2” si la consideraba medianamente importante y con “3” si era muy importante. Posteriormente se promediaron los puntajes obtenidos para cada una de las barreras y se ordenaron de la más importante a la menos importante según el criterio de los expertos.

3) La tercera y última sección buscaba identificar la importancia de las distintas medidas de sostenibilidad propuestas para la superación sostenible de las barreras identificadas. Con este fin, se elaboró un listado con todas las medidas de sostenibilidad y el experto debía puntuar con “1” si consideraba que la medida era nada importante, con “2” si era medianamente importante y con “3” si era muy importante para la superación sostenible de las barreras. Posteriormente se promediaron los

puntajes obtenidos para cada una de las medidas de sostenibilidad y se ordenaron de la más importante a la menos importante según los expertos.

Además, cada sección venía con una pregunta abierta para que el experto mencionara alguna oportunidad, barrera y/o medida de sostenibilidad que no estuviese descrita en la encuesta. Estas respuestas son analizadas en la sección resultados.

5. RESULTADOS

5.1. Encuesta a expertos

De las 40 encuestas enviadas se recibió un total de 11 respondidas, las cuales fueron utilizadas para realizar los análisis posteriores. Esto significó una tasa de respuesta de un 27,5%.

5.2. Oportunidades que ofrece el mercado del H₂v

Desde el año 2018 el mercado del H₂v ha experimentado un vertiginoso crecimiento impulsado por los compromisos de descarbonización de diversos países, lo que ha sido fomentado por los alarmantes informes del IPCC relacionados con las consecuencias del cambio climático (IPCC, 2021) y por las NDC comprometidas por los países firmantes del Acuerdo de París (GOBIERNO DE CHILE, 2020). En este contexto, muchos gobiernos y empresas están desarrollando proyectos pilotos de H₂v y varios países han publicado Estrategias que guíen la transición energética hacia un mercado del hidrógeno. Las

proyecciones de inversión también crecen con los años, para dar soporte a las metas de producción de hidrógeno limpio cada vez más ambiciosas (MCKINSEY & COMPANY, 2020).

La transición energética hacia el uso del H₂v a nivel global acarrearía consigo una serie de oportunidades a nivel económico, tecnológico, de infraestructura, ambiental y social, los cuales serán analizados a continuación:

5.2.1. Oportunidades económicas.

Frente a una realidad mundial que disminuye sus reservas de petróleo y mantiene alta su demanda, los precios de este combustible se mantienen elevados. Este es un escenario ideal para el surgimiento de nuevos combustibles a precios competitivos, y es aquí donde el H₂v y sus derivados tienen una oportunidad única (BALL y WIETSCHEL, 2009).

Los usuarios también se verían beneficiados dada la gran cantidad de actores participantes en la producción de H₂v, lo que llevaría los precios a la baja, a la vez que evitaría la aparición de carteles (como en el caso del petróleo) que actúen acordando los precios de venta (IRENA, 2022).

A nivel de relaciones internacionales, los países pueden utilizar sus conexiones de energía existentes para entablar nuevos acuerdos relacionados con el H₂v (IRENA, 2022).

Chile es rico en energías renovables, teniendo un potencial energético total actual de 1.800 GW, lo que equivale a 70 veces la actual demanda energética del país. Al 2050 se proyecta que los costos de las energías renovables seguirán disminuyendo y que los costos de las tecnologías de electrólisis serán un 80% más baratos que los actuales, convirtiendo al país como el productor de H₂v más económico del mundo (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a). Esto porque según diversas estimaciones, el mayor costo del H₂v está dado por los costos de las energías renovables.

En el norte de Chile se localiza la radiación solar más alta del planeta, con factores de planta de un 35%, y en la zona austral, los vientos soplan con la misma energía en tierra que mar adentro, con turbinas eólicas que alcanzan factores de planta mayores al 60% en tierra, valor similar a los alcanzados en turbinas mar adentro en otras regiones. Por lo tanto, el H₂v producido a gran escala en estas zonas sería ideal para la exportación debido a que tendría el

costo nivelado¹ de producción de H₂ más bajo del mundo al 2030, con valores que llegarían entre los 1,3 a 1,4 USD por Kg de H₂ (MCKINSEY & COMPANY, 2020; MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a). A la vez, el H₂v generado desde energía solar fotovoltaica en la zona central del país, con factores de planta de un 25%, podría servir como suministro de las aplicaciones domésticas, con un valor inferior a los 2 USD por Kg de H₂ (MCKINSEY & COMPANY, 2020).

A largo plazo, las proyecciones sobre el crecimiento del mercado exportador del H₂v y de sus derivados muestran que podría igualar en tamaño a la industria minera del país (MCKINSEY & COMPANY, 2020; MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a). Es importante tener en cuenta que, mientras el mercado del H₂v se expande a nivel mundial, su demanda para exportación también crecerá (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a). Las exportaciones de cobre, combustibles sintéticos y fertilizantes podrían tener un certificado verde, añadiéndoles un valor adicional y diferenciador.

¹ El costo nivelado de producción de hidrógeno o LCOH (por sus siglas del inglés Levelized Cost Of Hydrogen) es una metodología utilizada para contabilizar todos los costos de capital y operativos asociados a la producción de H₂, sin considerar los costos de su transporte, distribución y almacenaje. Así, permite comparar diferentes rutas de producción sobre una base similar.

5.2.2. Oportunidades tecnológicas

La producción de H_{2v} permitirá el aprovechamiento de las inagotables fuentes de energías renovables encontradas alrededor del planeta, ya que de éstas depende su síntesis, al mismo tiempo que potenciará la investigación y desarrollo a nivel mundial en las tecnologías que explotan este tipo de energías. De este modo, también ayudará a fortalecer la seguridad energética, diversificando sus fuentes de origen (IEA, 2019).

El H_{2v} puede facilitar el transporte de energía por largas distancias a través de tuberías y envíos por transporte terrestre o marítimo, permitiendo de este modo el aprovechamiento de ERNC de lugares remotos y hasta ahora sin explotar (IRENA, 2022)

El H_{2v} promete descarbonizar distintos sectores de la economía difíciles de mitigar, como el transporte de larga distancia, el transporte de carga y las industrias de productos químicos, del hierro y del acero. Cabe señalar que, en dichos sectores, soluciones como la electrificación no son una alternativa viable; ya sea por motivos de costos, tecnológicos, de eficiencia o accesibilidad (IEA, 2019; MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a).

Por otra parte, el uso del H₂v permitirá una mayor penetración de las ERNC en la matriz energética de cada país, ya que tiene el potencial de almacenar la energía variable, producida por las energías solar y eólica, para liberarla en condiciones en que éstas ya no la producen, entre horas a varios meses después (IEA, 2019).

5.2.3. Oportunidades de infraestructura

Existen millones de kilómetros construidos de tuberías de gas natural, las cuales podrían ser utilizadas de forma inmediata para la inyección de pequeños porcentajes de H₂v mezclado con el gas natural, permitiendo aumentar significativamente su demanda, y de manera rápida (IEA, 2019; IRENA, 2022).

Existe una amplia red de infraestructura portuaria a nivel global, la cual no sólo podría ser adaptada para la importación/exportación de H₂v o sus derivados, sino que también para su utilización (IPCC, 2022), con la construcción de sistemas de almacenamiento de H₂v o estaciones de repostaje para el abastecimiento de barcos y vehículos portuarios a base de H₂.

5.2.4. Oportunidades ambientales

El H₂v puede reemplazar a los combustibles fósiles para producir energía debido a que posee un gran potencial para combatir el cambio climático, actuando como un vector energético capaz de producir calor y electricidad sin generar GEI durante su uso (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a). Así, el uso masivo de H₂v significaría un gran impacto global en la reducción de las emisiones contaminantes, ayudando a mejorar la calidad del aire, principalmente en ciudades; disminuyendo la concentración de material particulado y ozono, y los episodios de lluvia ácida (BALL y WIETSCHEL, 2009).

Por otra parte, la implementación del mercado del H₂v podría reducir las emisiones de GEI, contribuyendo así a alcanzar las metas de descarbonización propuestas por Chile en sus compromisos NDC del Acuerdo de París. Entonces, reemplazando la utilización de H₂ gris en la industria nacional en conjunto con la incorporación del H₂v en otros sectores de la economía, como en el sector transporte a través de la descarbonización del transporte de pasajeros y de carga pesada, se estima que al 2050 Chile podría disminuir en un 25% sus emisiones (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a).

A nivel de uso de agua sostenible en lugares con sequía, como lo es la zona centro-norte del país, el desarrollo del H₂v ofrece la posibilidad de desalar agua de mar para uso en electrolizadores y destinar un porcentaje necesario para suplir las necesidades de agua potable de las comunidades cercanas a los proyectos. Todo esto debe ser en conversación entre las empresas privadas, las instituciones públicas y las comunidades afectadas.

5.2.5. Oportunidades sociales

Como el uso del H₂v disminuiría la contaminación atmosférica en ciudades, esto implicaría un descenso en la cantidad global de muertes prematuras por efecto de la contaminación atmosférica, que se estima en unos 3 millones de personas cada año (BALL y WIETSCHEL, 2009).

También, la industria de H₂v despertará la necesidad de contar con personal capacitado en la materia, esperando entonces la apertura de nuevos programas académicos y de capacitación (IRENA, 2022) para aumentar el conocimiento y satisfacer la demanda laboral por profesionales expertos en ésta tecnología.

Al corto plazo, la puesta en marcha de plantas de H₂v generará empleos de distinto grado de calificación junto con producir polos de desarrollo local a lo largo de todo el territorio nacional. Según estimaciones, durante las próximas décadas se podrían generar cerca de 100.000 empleos (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a), siempre y cuando Chile cumpla con las inversiones presupuestadas en proyectos de H₂v.

La Estrategia también ofrece la oportunidad de realizar una transición energética y económica justa, que signifique una mejora en la calidad de vida de las personas al mismo tiempo que garantice el cuidado del medioambiente. Por ejemplo, se podría dejar de importar amoníaco, reemplazarlo por amoníaco verde de producción local y, posteriormente, exportarlo. Esto, podría marcar el inicio de una economía nacional de exportación basada en energéticos limpios y productos verdes. Chile podría ofrecer diferentes productos con baja huella de carbono: cobre verde, amoníaco verde, metanol verde y combustibles sintéticos (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a).

De todas las oportunidades identificadas, se escogieron cinco de ellas que representaran en mejor medida las oportunidades que ofrece para Chile el desarrollo del H₂v y se incorporaron en la encuesta a los expertos (Tabla 1). Los resultados mostraron que la oportunidad mayormente puntuada por los expertos fue la generación de polos de desarrollo local dada por las plantas de H₂v. Esto

cobra mucha importancia en el país, dada su conocida centralización. Regiones del norte, con alto potencial de energía solar, o regiones del sur, con alto potencial de energía eólica, podrán volverse verdaderos polos de desarrollo.

La segunda oportunidad con mayor puntaje fue que el H₂v facilitará alcanzar las metas de descarbonización del país. Esto radica en que el H₂v permite reducir emisiones en sectores en los cuales hoy no es rentable realizarlo con la electrificación u otras tecnologías.

La tercera oportunidad con mayor puntuación por parte de los expertos es la capacidad que tiene Chile de llegar a ofrecer al mundo el H₂v al precio más económico, lo que se sustenta en los costos cada vez menores que tienen en el país las ERNC.

Otras oportunidades mencionadas por los expertos en la pregunta abierta, son las siguientes: impulsar en el país una industria de alto valor agregado, democratización de la energía, fomento de la producción científica nacional debido a la industrialización de los diversos usos del H₂v, formación de capital humano avanzado y permitir el acceso a la energía en zonas aisladas.

Tabla 1: Puntajes asignados por los expertos a las oportunidades del desarrollo del H₂v en Chile.

Oportunidad	Prom.	Desv. Estándar
Descentralización: A corto plazo, las plantas de H ₂ v generarán polos de desarrollo local.	2,73	0,47
Medioambiente: El H ₂ v facilitaría que el país alcance sus metas de descarbonización propuestas en el Acuerdo de París.	2,45	0,69
Economía: Chile podría llegar a producir el H ₂ v más económico del mundo al 2030.	2,36	0,50
Economía: A largo plazo, la exportación de H ₂ v y sus derivados podría igualar en tamaño a la industria minera del país.	2,36	0,67
Sociedad: El uso de H ₂ v en Chile significaría una mejor calidad de vida para las personas.	2,27	0,65

Fuente: elaboración propia a partir de las encuestas respondidas por expertos.

5.3. Países con Estrategias de H₂v

Se identificaron un total de 22 Estrategias Nacionales de H₂ publicadas hasta el 31 de diciembre del 2022, de los siguientes países (Tabla 2): Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Croacia, Dinamarca, Eslovaquia, Estados Unidos, Francia, Hungría, Italia, Japón, Luxemburgo, Namibia, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa y Singapur. La Comisión Europea también lanzó una Estrategia de Hidrógeno. Chile, por su parte, también cuenta con una Estrategia de Hidrógeno (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a), la

cual fue publicada en noviembre del año 2020, convirtiéndolo en el primer país latinoamericano en contar con una estrategia de este tipo.

Tabla 2: Lista de países con Estrategias de H₂v. En color naranja los países que se declaran importadores, en amarillo los que se declaran exportadores y en blanco aquellos países que no declaran ningún interés comercial.

País	Interés	Referencia
Alemania	Importador	FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND ENERGY, 2020
Australia	Exportador	COAG ENERGY COUNCIL, 2019
Austria	Importador	BUNDESMINISTERIUM, 2022
Bélgica	Importador	FEDERAL GOVERNMENT, 2022
Canadá	Exportador	GOVERNMENT OF CANADA, 2020
Comisión Europea	Neutral	COMISIÓN EUROPEA, 2020
Croacia	Exportador	MINISTRY OF ECONOMY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2022
Dinamarca	Importador	DANISH MINISTRY OF CLIMATE, ENERGY AND UTILITIES, 2021
Eslovaquia	Importador	SINAY <i>et al</i> , 2021
Estados Unidos	Exportador	OFFICE OF FOSSIL ENERGY, 2020
Francia	Neutral	GOVERNMENT OF FRANCE, 2020
Hungría	Neutral	GOVERNMENT OF HUNGARY, 2021
Italia	Importador	MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO, 2020
Japón	Importador	THE MINISTERIAL COUNCIL ON RENEWABLE ENERGY, HYDROGEN AND RELATED, 2017
Luxemburgo	Importador	LE GOUVERNEMENT DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG, 2021
Namibia	Exportador	MINISTRY OF MINES OF ENERGY NAMIBIA, 2021
Noruega	Exportador	NORWEGIAN GOVERNMENT, 2020
Países Bajos	Importador	GOVERNMENT OF THE NETHERLANDS, 2020
Polonia	Neutral	MINISTERSTWO KLIMATU I ŚRODOWISKA, 2021

Portugal	Exportador	REPÚBLICA PORTUGUESA, 2020
Reino Unido	Exportador	HM GOVERNMENT, 2021
República Checa	Importador	MINISTRY OF INDUSTRY AND TRADE, 2021
Singapur	Importador	MINISTRY OF TRADE AND INDUSTRY SINGAPORE, 2022

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 muestra el interés comercial que cada país desea desarrollar para la industria del H₂v: ocho países desean explotar su potencial exportador (Australia, Canadá, Croacia, Estados Unidos, Namibia, Noruega, Portugal y Reino Unido), quienes se beneficiarán de las inversiones y el crecimiento económico generado (WORLD ENERGY COUNCIL, 2019); once se definen como importadores (Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, Eslovaquia, Italia, Japón, Luxemburgo, Países Bajos, República Checa y Singapur), los cuales obtendrán beneficios por la disponibilidad de energía a menores costos (WORLD ENERGY COUNCIL, 2019); y Francia, Hungría y Polonia muestran una posición neutral, sin definirse como importadores o exportadores de H₂v, dando a entender que únicamente generarán el H₂v necesario para cubrir su demanda interna. En el caso de la Estrategia elaborada por la Comisión Europea, ésta no adquiere ninguna posición debido a que representa a un conjunto de países.

5.4. Barreras para el desarrollo de la industria del H₂v

Del estudio de todas las Estrategias de H₂v se lograron identificar un total de 118 barreras para el desarrollo del H₂v dentro de los diferentes países (Anexo 1). Entre ellas, la estrategia de Francia fue la que tuvo la menor cantidad de barreras mencionadas, con solo 34 de ellas (Anexo 1). Lo anterior se debe principalmente a que fue uno de los primeros países en identificar las ventajas del H₂ en el combate contra el cambio climático, implementando un Plan de H₂ en el año 2018 y asignándole recursos desde diferentes programas de inversión, por lo cual algunas de las barreras ya habían sido superadas. Además, el objetivo de la Estrategia francesa tiene tres prioridades claras y acotadas: descarbonizar la industria, desarrollar el uso del H₂ en el transporte de carga y apoyar el desarrollo tecnológico y la generación de empleos verdes (GOVERNMENT OF FRANCE, 2020).

En contraparte, la mayor cantidad de barreras fueron identificadas en las Estrategias tanto de Canadá como de Portugal, ambas con 94 barreras mencionadas (Anexo 1). Este gran número de barreras se explica porque ambos países apuntan a una amplia diversidad de objetivos para la industria del H₂ a lo

largo de toda la cadena de valor, como: incrementar la producción de H₂, disminuir los costos de producción, incentivar su uso en transporte e industria, construir infraestructura segura para el suministro y distribución de H₂, promover la investigación y desarrollo, fomentar la industria de exportación de H₂, fijar los estándares internacionales de H₂, establecer redes de cooperación internacional, apoyo financiero a los inversionistas, promoción de una buena percepción pública del uso del H₂, entre muchas otras.

En el caso de Chile, su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde tiene claros objetivos para convertirse en el productor líder mundial de H₂ que le permita ser el exportador más barato del mundo, por lo cual, sus 66 barreras de mercado identificadas tienen relación con este objetivo primordial.

Las barreras de tipo económico y financiero identificadas alcanzaron un total de 29, de las cuales 19 alcanzaron puntajes mayores o iguales a 12 (Tabla 3, recuadros celestes). La mayoría de estas barreras tienen relación con los altos costos a lo largo de la cadena de valor del H_{2v} y la falta de financiamiento.

En la Estrategia de Chile se identificaron 18 barreras de este tipo, 16 de las cuales están catalogadas como de importancia mayor (Tabla 3).

Chile desea convertirse en el líder exportador mundial del H₂ más barato del mundo al año 2030 (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a), visualiza al H₂ como materia prima, despreocupándose así del desarrollo tecnológico y del incentivo del crecimiento del parque automotriz alimentado por H₂, al menos al corto y mediano plazo.

Para el caso de las barreras menores, en la Estrategia chilena se identificaron dos: elevado costo de uso del H_{2v} y falta de fomento a los electrolizadores. Lo que tiene relación con la producción de H_{2v} y su uso doméstico. El resto de las barreras no parece tener injerencia en el objetivo chileno de convertirse en un exportador de materia prima (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a), salvo los altos costos de almacenaje del H_{2v}.

Tabla 3: Barreras económicas y financieras identificadas en las Estrategias internacionales, en orden decreciente según su puntaje, y su correspondiente reconocimiento dentro de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. En recuadros celestes se marcan las barreras de importancia mayor.

Barreras Económicas y Financieras	Ptje.	Chile	Barreras Económicas y Financieras	Ptje.	Chile
Ausencia de apoyo económico nacional a los proyectos de H2v	23	x	Ausencia de colaboraciones intersectoriales en la industria del H2v	15	X
Elevado costo de producción de H2v	22	x	Elevado costo de las energías renovables	14	X
Ausencia de acuerdos y colaboraciones internacionales	22	x	No fomentar los productos finales con sello verde	14	X
No financiar la I+D en el uso del H2v	22	x	Impedir la expansión de la industria de H2v	12	X
Industria del H2v no competitiva	20	x	Elevado costo de almacenaje del H2v	11	
No desarrollar una economía de escala del H2	20	x	Elevado costo de uso del H2v	11	X
No fomentar la ejecución de proyectos piloto para el H2v	20	x	No fomentar la inversión en electrolizadores	11	X
No adoptar tecnologías que permitan reducir los costos de H2v	19	x	Falta de beneficios económicos para inversionistas	9	
Falta de beneficios económicos para consumidores	16	x	No fomentar la fabricación de celdas de combustible	9	
No atraer inversión extranjera	16	x	Elevado costo de los vehículos de H2v	8	
No incentivar la inversión en vehículos propulsados por H2v	16		Elevados costos de las estaciones de repostaje de H2v	4	
No fomentar asociaciones público-privadas en la industria del H2v	16	x	No aprovechar de posicionar las empresas nacionales en otros países	4	
No garantizar la exportación de tecnologías	16		Incremento en el precio del gas durante la transición al uso de H2v	3	
No incentivar la generación de trabajos verdes	16	x	Falta de monitoreo del impacto del H2v en los costos de la energía	1	
Elevado costo de suministro del H2v	15				

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de distintas Estrategias de H2v.

Fueron contabilizadas 32 barreras técnicas y de infraestructura, de las cuales 15 se categorizaron como de importancia mayor (Tabla 4, recuadros naranjos), las cuales se pueden resumir como barreras que: dificultan la cadena de suministro y la seguridad a lo largo de la cadena de valor del H₂v, no fomentan tecnologías de captura y almacenamiento de carbono, impiden la formación de capital humano avanzado y que disminuyen los terrenos disponibles.

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde menciona 15 de este tipo de barreras (Tabla 4), 10 de ellas categorizadas como de importancia mayor. En este sentido destacan las barreras que entorpecen la cadena de suministro del H₂ y la falta de infraestructura para un suministro seguro, que no permiten utilizar las últimas tecnologías disponibles y que no permiten contar con profesionales especializados. Por el contrario, no se identifican barreras relacionadas con el transporte y almacenaje de H₂, lo que podría traducirse en problemas futuros en un país que desea producir grandes cantidades de este gas para exportación. Tampoco se mencionan barreras relacionadas con la construcción de estaciones de repostaje de H₂ y con la utilización de tecnologías de captura y almacenaje de carbono, las cuales no tienen relación con los objetivos de la Estrategia al corto y mediano plazo (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a).

De las 17 barreras técnicas y de infraestructura categorizadas como de importancia menor, estas tienen relación con temas de infraestructura y

seguridad durante el transporte y almacenaje de H₂, falta de capacitación, evaluación de viabilidad de los proyectos de H₂, perder el liderazgo en la industria del H₂ y no considerar la geología en los proyectos. Aquí, la Estrategia de Chile menciona cinco barreras enfocadas en la capacitación en los servicios de emergencia y entes reguladores, falta de infraestructura y falta de disponibilidad de terrenos. Sin embargo, resulta preocupante que como país sísmico no se haga referencia a la importancia de los estudios geológicos de los proyectos.

Tabla 4: Barreras técnicas y de infraestructura identificadas en las Estrategias internacionales, en orden decreciente según su puntaje, y su correspondiente reconocimiento dentro de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. En recuadros naranjos se marcan las barreras de importancia mayor.

Barreras Técnicas y de Infraestructura	Ptje.	Chile	Barreras Técnicas y de Infraestructura	Ptje.	Chile
Inseguridad a lo largo de la cadena de suministro de H ₂ v	19	x	Tecnologías poco eficientes para transportar y almacenar H ₂ v	11	
No incentivar la innovación tecnológica en la industria del H ₂	19	x	Falta de disponibilidad de terrenos	9	X
No fomentar la construcción de estaciones de repostaje de H ₂ v en transporte	17		No tener infraestructura para el desarrollo de energías renovables	8	X
Falta de infraestructura segura para el transporte y distribución de H ₂ v	17	x	No contar con la infraestructura requerida para el transporte marítimo verde	7	
No fomentar la captura y almacenamiento de CO ₂ en centrales productoras de H ₂	16		Fuga de H ₂ v desde su transporte por redes de gas	6	
Desconocer las nuevas tecnologías en transporte basado en H ₂ v	16	x	Falta de capacitación en seguridad del H ₂ v en los servicios de emergencia	6	X
No fomentar la construcción de redes de gas para el transporte de hidrógeno	15		Falta de una pre-evaluación de la infraestructura de H ₂ v	6	X
Inseguridad en el uso final de H ₂ v: instalaciones y electrodomésticos	15	x	Perder el liderazgo alcanzado en la industria del H ₂ v	6	
Inseguridad de la matriz energética	15	x	Falta de capacitación sobre la industria del H ₂ v en los entes reguladores	4	X
Ausencia de carreras de formación relacionadas con el H ₂ v	15	x	No evaluar las estructuras para el almacenamiento subterráneo de CO ₂ o H ₂	4	
Ausencia de una cadena de suministro para el H ₂ v	15	x	No fomentar los estudios de viabilidad de los proyectos de H ₂	3	
No contar con infraestructura transfronteriza para transporte de H ₂	14		No considerar la geología en los proyectos	2	
No priorizar el uso del H ₂ v en áreas que resulten más rentables	13	x	Riesgos por no definir el mercado del H ₂ v dentro de una moneda de referencia	1	
Ausencia de puertos adaptados para la importación/exportación de H ₂ v	13		Fuga de capital humano avanzado hacia otros países	1	
Falta de capital humano avanzado	12	x	Falta de una revisión periódica de la infraestructura de H ₂ v	1	
No considerar el transporte de H ₂ v por vía marítima	11		No asegurar la disponibilidad de las materias primas para construir una economía del H ₂	1	

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de las distintas Estrategias de H₂v.

Para el caso de las barreras institucionales y regulatorias se contabilizaron un total de 48, de las cuales 23 fueron catalogadas como de importancia mayor (Tabla 5, recuadros verdes). Aquí se incluyen diferentes barreras regulatorias, entre ellas: no fomentar el uso del H₂v en transporte, no contar con regulación en H₂v, ausencia de certificaciones, no fomentar el uso de H₂v en áreas de difícil descarbonización ni la oferta-demanda, falta de planificación de los proyectos.

De las 25 barreras de este tipo contenidas en La Estrategia Nacional de Hidrógeno, 18 pertenecen al grupo de importancia mayor (Tabla 5). De las que no se mencionan, destacan la ausencia de leyes para: promover los vehículos de H₂, fijar los estándares internacionales en la industria y de la localización de estaciones de repostaje. Todas las cuales se alejan de los objetivos de Chile de posicionarse como un líder mundial en producción de H₂.

Aquellas barreras catalogadas como de importancia menor tienen relación en materias tan distintas como regulaciones al precio del carbono, a la expansión de la industria del H₂v, al precio de la electricidad, regulaciones que no sean adaptables a los cambios, regulaciones que faciliten la comercialización internacional de H₂, entre otras. En el caso de la Estrategia chilena, siete de las barreras mencionadas caen dentro de esta categoría. Entre ellas, la falta de políticas que generen certeza jurídica para inversionistas, es muy importante considerando que Chile ocupa el lugar 16 entre los países con mayor cantidad

de conflictos socioambientales a nivel mundial (Temper *et al.*, 2022), por lo que generar regulaciones que den mayores certezas jurídicas aumentarán la confianza de los inversionistas.

Tabla 5: Barreras institucionales y regulatorias identificadas en las Estrategias internacionales, en orden decreciente según su puntaje, y su correspondiente reconocimiento dentro de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. En recuadros verdes se marcan las barreras de importancia mayor.

Barreras Institucionales y Regulatorias	Ptje.	Chile	Barreras Institucionales y Regulatorias	Ptje.	Chile
No evaluar la incorporación del H ₂ v como combustible en el transporte marítimo	23	x	No formar parte de los países que fijan los estándares en la industria del H ₂ v	11	
No fomentar el uso del H ₂ v como combustible en el transporte terrestre	22	x	Falta de regulación al precio del carbono	11	X
Ausencia de regulación nacional sobre H ₂ v	20	x	Falta de regulación sobre la reconversión de redes de gas para transporte de H ₂ v	10	X
No poseer una industria H ₂ v certificada (certificado de origen)	20	x	No priorizar la aprobación de proyectos de H ₂ v	9	X
Incorporación del H ₂ v en aquellas áreas de difícil descarbonización	20	x	No regular la expansión de la cadena de suministro del H ₂ v	9	
No trabajar con los mismos estándares y certificaciones internacionales de H ₂ v	19	x	Altos impuestos para el H ₂ v	8	
No contar con políticas que incentiven la demanda de H ₂ v	19	x	No fomentar la recuperación sostenible o transición verde post pandemia	8	
No fomentar la descarbonización industrial mediante el uso de H ₂ v	19	x	No fomentar una producción descentralizada de H ₂ v	8	
No evaluar la incorporación del H ₂ v como combustible en el transporte aéreo	19	x	Falta de regulación para el acceso universal a la infraestructura del H ₂ v	7	
No incentivar la adición de energías renovables en la matriz energética	18	x	No optimizar la generación eléctrica con la producción de H ₂	7	
No establecer plazos ni límites para la disminución de emisiones de GEI	18	x	Ausencia de regulación nacional adaptada a cada estado o jurisdicción, sobre H ₂ v	6	X
No contar con políticas que incentiven la producción de H ₂ v	16	x	Políticas que no generen certeza jurídica para los inversionistas en H ₂ v	6	X

Falta de acuerdos para elaborar normas y estándares para el H ₂ v	16		Falta de evaluación de la factibilidad de los proyectos que involucren H ₂ v	6	
No fomentar la mezcla de H ₂ v en las redes de gas natural	16	x	No contar con políticas para fomentar la importación/exportación de H ₂ v	6	
No fomentar el uso doméstico del H ₂ v	14	x	Falta de regulación para integrar el H ₂ v en el mercado energético	6	
No fomentar el incremento de vehículos de celdas de combustible	14		Regulaciones sobre el H ₂ v demasiado estrictas, ambiguas o innecesarias	4	
Falta de planificación de las estaciones de repostaje de H ₂ v	14		No contar con regulación en energías renovables	4	
Ausencia de revisión periódica de las políticas de H ₂ v	13	x	No regular el precio de la energía	3	
Ausencia de regulación internacional sobre H ₂ v	13		Elevados impuestos a la electricidad	3	
No fomentar la producción de combustibles sintéticos basados en H ₂ v	13	x	No regular el uso de H ₂ v en el transporte marítimo	3	
Planificación de los proyectos de H ₂ v no coordinada a nivel nacional	12	x	No medir la huella de carbono en los procesos de producción de los proyectos	3	x
No agrupar la producción y demanda de H ₂ v a escala local	12	x	Aplicar restricciones iniciales al mercado del H ₂ v (como limitar precios)	2	
Obstáculos al flujo de gas transfronterizo de H ₂ v	12		No establecer peaje rebajado para el transporte cero emisión	2	
Regulación y objetivos de la industria de H ₂ no se adaptan a los cambios globales	11	x	No contar con una regulación de la energía eólica offshore	1	

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de las distintas Estrategias de H₂v.

Se identificó un total de nueve barreras de información, participación y conciencia pública (Tabla 6), de las cuales cuatro de ellas pueden catalogarse como de importancia mayor: barreras relacionadas al daño ambiental, al rechazo social, a la ausencia de intercambio de conocimientos y a la falta de colaboración entre actores. La Estrategia de Chile también las reconoce a todas.

Las cinco barreras restantes, identificadas como de importancia menor por ser mencionadas por muy pocos países, adquieren gran relevancia para el caso de Chile. Los débiles procesos de participación ciudadana han generado el surgimiento de un gran número de conflictos socioambientales (Temper *et al.*, 2022), por lo que su fortalecimiento en una Estrategia de Hidrógeno será clave para disminuirlos. El uso de agua de manera indiscriminada es un tema crucial en un país que arrastra una mega sequía por más de una década (CEP, 2021), siendo un tema de máxima relevancia que debe ser considerado en los futuros proyectos de producción de H₂. El desarrollo de una industria de H₂ responsable, es decir, que aporte al desarrollo sustentable, es muy importante de cara a la ciudadanía, que ha visto incluso como el poder judicial ha fallado contra empresas por contaminar y arrasarse diversos ecosistemas (DIARIO CONSTITUCIONAL, 2013; DIARIO CONSTITUCIONAL, 2019).

Tabla 6: Barreras de información, participación y conciencia pública identificadas en las Estrategias internacionales, en orden decreciente según su puntaje, y su correspondiente reconocimiento dentro de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde. En recuadros amarillos se marcan las barreras de importancia mayor.

Barreras de Información y Conciencia Pública	Ptje.	Chile	Barreras de Información y Conciencia Pública	Ptje.	Chile
Deterioro ambiental	16	x	No considerar participación de las comunidades o pueblos originarios en proyectos de H ₂ v	7	X
Ausencia de colaboración entre Estado y otros actores (empresa, academia y sociedad civil)	15	x	Visión ambigua de la importancia del H ₂ v en el futuro energético del país	6	
No fomentar la aceptación social de H ₂ v	12	x	Uso de agua desde fuentes no sostenible para la producción de H ₂ v	4	X
No incentivar el intercambio de conocimientos relacionados al H ₂ v	12	x	No fomentar el desarrollo responsable de la industria de H ₂ v	3	X
No educar a la población acerca de la industria del H ₂ v	10	x			

Fuente: Elaboración propia a partir del análisis de las distintas Estrategias de H₂v.

La encuesta a expertos mostró una clara importancia de las barreras escogidas, ya que todas ellas fueron consideradas por sobre un puntaje de “2”, de medianamente importante (Tabla 7). Las cinco más importantes para los expertos fueron: 1) elevado costo de producción del H₂v, 2) no fomentar el desarrollo responsable de la industria del H₂v, 3) ausencia de regulación nacional sobre el H₂v, 4) no incentivar la innovación tecnológica en la industria del H₂v y 5) falta de infraestructura segura para el transporte y distribución de H₂v.

Tabla 7: Puntaje asignado por expertos a las barreras de entrada para el desarrollo del H₂v en Chile.

Barrera	Prom.	Desv. Estándar
Elevado costo de producción de H ₂ v	2,82	0,60
No fomentar el desarrollo responsable de la industria de H ₂ v	2,82	0,60
Ausencia de regulación nacional sobre H ₂ v	2,73	0,47
No incentivar la innovación tecnológica en la industria del H ₂ v	2,73	0,47
Falta de infraestructura segura para el transporte y distribución de H ₂ v	2,64	0,67
No evaluar la incorporación del H ₂ v como combustible en el transporte terrestres, marítimo y aéreo.	2,55	0,69
No financiar la I+D en el uso del H ₂ v	2,55	0,52
Deterioro ambiental	2,55	0,69
No fomentar la aceptación social de H ₂ v	2,55	0,69
No considerar participación de las comunidades o pueblos originarios en proyectos de H ₂ v	2,55	0,69
Uso de agua desde fuentes no sostenible para la producción de H ₂ v	2,55	0,69
Incorporación del H ₂ v en aquellas áreas de difícil descarbonización	2,45	0,82
No fomentar la descarbonización industrial mediante el uso de H ₂ v	2,45	0,82
No desarrollar una economía de escala del H ₂ v	2,45	0,69
Inseguridad a lo largo de la cadena de suministro de H ₂ v	2,45	0,82
No trabajar con los mismos estándares y certificaciones internacionales de H ₂ v	2,36	0,67
Ausencia de carreras de formación relacionadas con el H ₂ v	2,27	0,65

Ausencia de apoyo económico nacional a los proyectos de H ₂ v	2,18	0,60
Ausencia de acuerdos y colaboraciones internacionales	2,18	0,75
No fomentar la construcción de estaciones de repostaje de H ₂ v (hidrolineras) en transporte	2,18	0,75

Fuente: elaboración propia a partir de las encuestas respondidas por expertos.

Otras barreras mencionadas por los expertos fueron: optimización del mercado eléctrico, optimización de infraestructura compartida, intercambio de conocimiento en relación del H₂v y ausencia de demanda.

5.5. Componentes económicos, técnicos, jurídicos, de mercado, geográfico/ambientales y socioculturales de las barreras.

La Tabla 8 (página 91) muestra entre una o dos razones que originan cada uno de los componentes desglosados para cada barrera identificada. Brevemente, las razones que más se repiten en el componente económico son el alto costo de producción del H₂v y su precio desfavorable en relación a los combustibles fósiles. Para el componente técnico, es la falta de madurez de las nuevas tecnologías. En el caso del componente jurídico es por lejos la ausencia de regulación tanto nacional como internacional en la materia. El componente de mercado se origina principalmente por la falta de economías de escala y por competir contra el maduro mercado de los combustibles

fósiles. Para el componente geográfico/ambiental, es la distancia entre generación de H₂v y centros de consumo. Y para el componente sociocultural, sus orígenes se encuentran en la desinformación en la nueva tecnología y en los conflictos socioambientales.

5.6. Propuestas y consideraciones para la Gestión Ambiental de las Barreras

Muchas investigaciones relacionadas con el H₂v apuntan hacia soluciones técnicas para lograr la reducción de costos e incrementar la eficiencia durante la generación, almacenamiento, transporte, distribución y uso. Sin embargo, debe tenerse presente que el H₂v adquiere un papel clave en la transición energética hacia formas más limpias porque ofrece una alternativa socialmente beneficiosa y ambientalmente amigable para la creciente demanda energética mundial, que al fin puede independizarse de los combustibles fósiles. Por lo tanto, esta transición debe realizarse de manera consciente, garantizando la sostenibilidad a lo largo de toda la cadena de valor del H₂v.

Por todo lo antes mencionado, las barreras capaces de impedir el desarrollo de esta industria en el mercado energético nacional deben ser superadas tomando en consideración distintas medidas que garanticen su desarrollo

sostenible, las que se detallan a continuación en el texto y que se muestran en la Tabla 8 (página 100).

5.6.1. Crear regulaciones para el H₂v.

La publicación de leyes que regulen la industria del H₂v es clave para acelerar la transición energética, por diferentes razones. En primer lugar, el establecimiento de normas claras proporciona un marco legal estable que da certeza jurídica a los inversionistas. Así, los titulares de proyectos tendrán las reglas claras para poder invertir en generadoras de H₂v dentro del territorio nacional, pudiendo asegurar un proyecto rentable a largo plazo y evitando los desfalcos financieros producto de una normativa ambigua que podría conducir a futuro a paralizaciones temporales o cancelación temprana definitiva del funcionamiento estimado del proyecto, surgimiento de elevados impuestos no contemplados en forma anterior, entre otras consecuencias.

En segundo lugar, el H₂v puede potenciar el crecimiento del mercado de las energías renovables (SHAFIEI *et al.*, 2017) porque puede otorgar flexibilidad en la demanda, por su capacidad de almacenar los excedentes producidos por la energía renovable variable (IRENA, 2019), como la eólica o solar, y liberarlos cuando sean requeridos, y porque puede facilitar su penetración dentro de la

matriz energética (DINCER y ACAR, 2016; MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020d) al permitir la diversificación en las fuentes de generación de energía, otorgando flexibilidad en la oferta.

5.6.2. Financiamiento verde

El año 2010 se creó el mayor fondo climático del mundo: el Fondo Verde para el Clima. Ésta es una entidad multilateral de financiamiento climático creada bajo el alero de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y es financiada por los Estados miembros. Su fin es apoyar a los países en vías de desarrollo a alcanzar sus metas de desarrollo sustentable y las NDC (MINISTERIO DE HACIENDA, 2021). El Fondo ofrece líneas de financiamiento para programas de mitigación y/o adaptación que sean impulsadas por el sector público o privado de cada país. Chile participa con una línea local en el Fondo Verde para el Clima y, como el H₂v ayudaría a reducir las emisiones contaminantes y a cumplir con sus NDC, se podría ocupar como financiamiento para proyectos de este tipo.

Por otro lado, también la banca está haciendo eco de la urgencia de contrarrestar las emisiones de gases de efecto invernadero. Entidades de todo el mundo están alineando sus carteras de préstamos e inversiones a proyectos cero

emisiones, reconociendo el papel vital de los bancos en el apoyo a la transición energética.

En Chile, la banca privada firmó un pacto verde con el Ministerio de Hacienda donde se compromete a “perfeccionar continuamente la cartera de productos y servicios bancarios destinados al financiamiento de actividades y proyectos que aporten al desarrollo sostenible” (MINISTERIO DE HACIENDA, 2019).

El camino adoptado parece ser el correcto, sin embargo, urge incrementar la concientización de la banca para priorizar el financiamiento a proyectos verdes, aumentar los préstamos y asumir que el riesgo de este tipo de inversiones disminuye a medida que se transforman en economías maduras y de escala.

5.6.3. Financiamiento a proyectos pilotos

El año 2021, CORFO adjudicó seis propuestas de H₂v con el fin de acelerar el desarrollo de proyectos de producción, a través de apoyo financiero, comprometiendo un total de USD 50 millones (CORFO, 2021). Entre los proyectos beneficiados se encuentra “HyEx – Producción Hidrógeno Verde”,

liderado por la empresa Engie S.A., que pretende construir una planta piloto en la Región de Antofagasta para una capacidad de electrólisis de 26 MW. Esta planta posteriormente se ampliaría para llegar a generar 3.200 toneladas de hidrógeno verde por año, el que sería luego entregado a la empresa Enaex para la producción de amoníaco verde.

De esta manera, se podrían crear fondos especiales para el financiamiento de pilotos, con el objetivo de disminuir la incertidumbre de los titulares de proyectos respecto a invertir en proyectos de gran escala.

5.6.4. Priorizar la producción de H₂v desde fuentes solares y eólicas

Acar y Dincer (2019) reunieron diferentes estudios publicados entre los años 2015 y 2018, que comparaban las fuentes de energías renovables desde donde se obtenía la electricidad para producir posteriormente H₂v, y las relacionaron entre sí considerando diferentes factores (económicos, ambientales, sociales, técnicos y de confiabilidad). Con lo anterior, obtuvieron un puntaje entre 0 a 10, donde 0 indica el escenario menos deseado y 10 el escenario ideal en términos de sostenibilidad, a este puntaje le denominaron rendimiento medio. Las energías renovables capaces de alimentar electrolizadores que se analizaron y compararon fueron: biomasa, eólica, geotérmica, hidráulica, nuclear y solar.

Respecto a esto último, la energía solar como fuente productora de H₂v fue la que mostró el mejor rendimiento medio (con 7.4 de 10 puntos), seguida de las energías hidroeléctrica y eólica (ambas con 6,0 de 10), biomasa (5,8 de 10), nuclear y geotérmica (ambas con 4,6 de 10). Así, la energía solar presenta importantes ventajas considerando que el proceso de obtención de electricidad utilizando células fotoelectroquímicas o ciclos termoquímicos solares, tienen un impacto negativo muy bajo sobre el ambiente, son confiables y generan bajo impacto negativo sobre la salud de las personas (ACAR y DINCER, 2019).

Sin embargo, los resultados del estudio antes mencionado tienen que analizarse bajo el contexto de la realidad nacional. Sabiendo que la zona sur de Chile es rica en vientos, es la energía eólica la que debiese tener prioridad por sobre la hidroelectricidad. Esto, porque la hidroelectricidad en Chile tiene un futuro incierto debido a la mega sequía que afecta al país desde el año 2008 y a la creciente judicialización de los proyectos de este tipo por parte de las comunidades (STUBING *et al.*, 2021). En la zona norte, que presenta una alta radiación solar, la energía solar debiese primar.

5.6.5. Fomentar la industria verde.

Actualmente se utiliza hidrógeno gris en la producción de metanol, síntesis de amoníaco y en los procesos de fabricación de acero (ACAR y DINCER, 2019). Todos estos procesos pueden realizarse de la misma forma si la materia prima utilizada es H₂v, permitiendo la elaboración de productos finales con sello verde.

El 06 de mayo de 2022, la empresa Anglo American presentó en Sudáfrica el primer camión minero de extracción propulsado por H₂v. Este camión cero emisión es un piloto que pretende ser el predecesor de toda una nueva flota de camiones de este tipo (ANGLO AMERICAN, 2022). Este hecho no sólo marcó un hito en el camino hacia la carbono neutralidad, sino que también abre las puertas a la generación de productos verdes. Por ejemplo, si una mina de cobre utiliza sólo energía proveniente de fuentes renovables cero emisiones y todos sus procesos y servicios son también cero emisiones, la producción del cobre se habrá realizado sin emitir contaminantes a la atmósfera, obteniendo un producto final verde.

Dada la concientización mundial acerca de los peligros de las emisiones, los productos con sello verde toman ventaja en comparación al mismo en cuyo proceso de producción se emitieron contaminantes. Si bien hoy es más costoso

fabricar productos finales con sello verde desde energías limpias, dado los bajos costos de los combustibles fósiles, en un futuro esta tendencia se revertirá debido a los impuestos al carbono que se irán imponiendo.

Entonces, esta ecologización de distintos sectores de la economía a través de la utilización de H₂v también acelerará la descarbonización global, debido a que se reemplazan combustibles fósiles por un combustible limpio para fabricar los mismos productos finales.

5.6.6. Garantía de Origen y Certificaciones sostenibles para el H₂v y sus derivados.

La Garantía de Origen es un documento electrónico que identifica la fuente y el método de producción de una unidad de energía. Actualmente en Europa, la Garantía de Origen para Energías Renovables está bien establecida bajo norma EN 16325-2013 + A1-2015, sin embargo, se limita sólo a la electricidad sin abarcar a los hidrocarburos gaseosos ni al hidrógeno. Aunque se está trabajando en la nueva norma “EN 16325” denominada “*Garantías de origen relacionadas con la energía*”, capaz de incorporar otros energéticos, aun no tiene fecha de publicación. Mientras tanto, las normas del Sistema Europeo de Certificación Energética deben utilizarse como guía. Sin embargo, el

reconocimiento de garantía de origen se limita a la Unión Europea más otros países europeos. El resto de los países deben celebrar acuerdos con la Unión Europea sobre el reconocimiento mutuo de garantías de origen cuando exista importación o exportación directa de energía (GIZ *et al.*, 2021).

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde establece la intención de Chile de exportar H₂v y sus derivados al mercado europeo, por lo que es fundamental que el país pueda suscribir un acuerdo de garantía con la Unión Europea. Lo anterior abrirá las puertas de un mercado con alta demanda de energía limpia y sus derivados, con estrictos protocolos y procedimientos para asegurar el origen de dichos energéticos. Al suscribir estos acuerdos, Chile se obligará a cumplirlos al pie de la letra, trabajando con estándares que garantizarán la sostenibilidad de los productos generados.

A través de una certificación se pueden validar estándares determinados que deben cumplir un producto o servicio, de manera de asegurar su calidad. Por esta razón, se están haciendo grandes esfuerzos a nivel internacional para lograr armonizar los estándares existentes para el H₂v, a través de una certificación única y global (GIZ *et al.*, 2021). A futuro, contar con una certificación armonizada de sostenibilidad para la producción de H₂v y sus derivados es de suma importancia, no sólo porque se pone en línea con varios de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, en particular la acción por

el clima (13) y la energía asequible y no contaminante (7), sino también porque el H₂v certificado tendrá que cumplir con los mismos requerimientos, independiente del lugar en que sea generado.

Por lo anterior, es fundamental que Chile regule la certificación nacional del H₂v y sus derivados siguiendo los criterios que sean asumidos por las entidades internacionales. De esta forma, se asegura que la calidad del H₂v y sus derivados sean reconocidos de manera global, haciendo más fácil su exportación.

5.6.7. Impuesto al carbono

Desde el año 2014 Chile tiene una ley que regula los impuestos verdes, el cual es un instrumento de gestión ambiental cuyo objetivo es gravar las emisiones de contaminantes de vehículos y fuentes fijas y un impuesto específico a las emisiones de CO₂ de fuentes térmicas (GARCÍA, 2018). El impuesto es de 5 USD/tonCO₂e emitido; y el 2020, la Ley 21.210 modificó la norma, aplicándola ahora a todas las instalaciones que emitan 25.000 tCO₂ o más, así como para aquellas que liberen al aire más de 100 toneladas de material particulado al año (GARCÍA, 2022).

Sin embargo, el Banco Mundial señala que para que tengan un real efecto, los impuestos al carbono deberían alcanzar precios entre los 40-80 USD/tonCO_{2e}. Desde el Ministerio de Energía han hecho eco de esto y han planteado que el actual diseño y bajo valor del impuesto no ha logrado obtener cambios significativos en el uso del carbono (GARCÍA, 2022). Por lo anterior, en la Estrategia de Instrumentos Económicos para la Transición Energética, publicada en marzo del 2022, se propone un mecanismo creciente de impuestos al carbono, de manera de valorizar de forma adecuada las externalidades negativas de las emisiones producidas por la obtención de energía (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2022b). Dichos impuestos pretenden alcanzar los 35 USD/tonCO_{2e} al 2030, los que sumados al precio de otros instrumentos de mercado totalizarían un valor del carbono igual a 60 USD/tonCO_{2e}.

Los impuestos al carbono aceleran la transición energética porque actúan como incentivos de las inversiones en tecnologías alternativas al uso de combustibles fósiles, en donde las ERNC y el H_{2v} asoman con ventaja.

5.6.8. Protección y conservación de la biodiversidad y los hábitats.

Una planta de electrólisis requiere instalar su infraestructura sobre un terreno, pudiendo afectar el hábitat de las especies del lugar. También, como las

plantas de electrólisis requieren alimentarse de electricidad, se hace necesario tomar en cuenta los efectos adversos que tendrán sobre el terreno tanto la construcción como el funcionamiento de los proyectos ERNC necesarios para generar y entregar esta energía. Todos estos proyectos eliminarán vegetación y/o necesitarán realizar una nivelación superficial de terreno en grandes áreas, construcción de caminos y la circulación de vehículos y maquinarias pesadas. Esto puede provocar cambios permanentes en la cobertura del suelo y la pérdida o fragmentación del hábitat de muchas especies, disminuyendo así la biodiversidad (GIZ *et al.*, 2021). Por otra parte, las líneas de transmisión eléctrica ponen en peligro la vida de aves o murciélagos que pueden colisionar y/o electrocutarse.

El suministro de agua superficial o subterránea para electrólisis puede provocar escasez de los recursos hídricos locales, generando al mismo tiempo una afectación en los ecosistemas y en la biodiversidad. Por lo tanto, algunas medidas de sostenibilidad serían la ubicación geográfica de proyectos solares y plantas de H₂v en suelos poco fértiles y expuestos a la erosión en la zona norte, como serían terrenos secos y costeros en donde se podría obtener agua desde el mar. Para el caso de proyectos eólicos, estos podrían ubicarse en terrenos erosionados y con poca vegetación producto del intenso viento en la zona sur de Chile. Además, minuciosos EIA podrían anticipar rutas de migración de aves,

pudiendo modificar la ubicación de las líneas de transmisión de los proyectos para minimizar los accidentes y muertes de los individuos.

5.6.9. Conservación de los suelos

La conservación del suelo está contemplada en el objetivo ODS número 15, “Vida de ecosistemas terrestres”, que promueve el uso sostenible del suelo junto con la reversión de su degradación. Así, se busca proteger los suelos contra la erosión, la compactación y el sellado. Como los proyectos de producción de H₂v y de ERNC requieren ser instalados sobre una superficie, estos irremediablemente provocarán erosión, compactación y sellado del suelo, por lo que las medidas de sostenibilidad deben minimizar los efectos generados, tales como: limitar la cantidad de viajes y de vehículos dentro del área del proyecto, restringir la circulación exclusivamente por caminos habilitados y prohibir la circulación de vehículos no autorizados.

5.6.10. Protección ambiental

Las plantas desaladoras generan sal y minerales como subproductos, los cuales generalmente son descargados en el océano como salmuera hipersalina,

que es más densa que el agua de mar, pudiendo cambiar la densidad del lecho marino. Por esto, es importante que todo proyecto de producción de H₂v contemple la sostenibilidad como un sistema global y no local, en donde la contaminación de una zona no se soluciona contaminando una mucho más lejana.

Es sumamente importante la adecuada gestión de los residuos generados durante las etapas de construcción, operación y demolición de las plantas ERNC o de H₂v, para evitar la contaminación ambiental. La separación en origen sería una medida en los planes de gestión de residuos, junto con la estrategia de las tres R: 1. Reducir la cantidad de productos que alcanzan el final de su vida útil, 2. Reutilizar productos o algunas de sus partes que de otro modo se convertirían en residuos y 3. Reciclar materias primas.

5.6.11. Uso sostenible del agua

Las plantas de H₂v utilizan agua para producirlo, por lo que el uso de agua adquiere una importancia crítica debido a la sequía que azota al país desde el año 2010 (CEP, 2021). Por lo mismo, La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde plantea utilizar agua desalada en zonas con escasez hídrica velando por

el uso responsable del agua junto a las comunidades (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a).

Las plantas de energía solar fotovoltaica se ubican preferencialmente en el norte del país, lugar caracterizado por su clima seco y caluroso. Estas plantas también requieren agua, pero para realizar labores de limpieza de los paneles solares cada cierta periodicidad. La capacidad instalada de energía solar fotovoltaica se incrementa año a año, por lo que cada vez se requiere más agua para los procesos de limpieza en una zona en donde este recurso escasea. El panorama se torna mucho más complejo si a lo anterior le agregamos que la Ley N° 21.435 de “*Reforma el Código de Aguas*” (CHILE, 2022) consagra que prevalecerá el uso del agua para el consumo humano, tanto en el otorgamiento como en la limitación al ejercicio de los derechos de aprovechamiento de aguas. Por lo anterior, ya no es seguro contar con derechos de agua de un río para asegurar el funcionamiento de un proyecto. Si el caudal del río disminuye, se privilegiará su uso para el consumo humano. Por lo anterior, para asegurar un uso sostenible de agua, los dueños de proyectos deben trabajar con entidades públicas y con las comunidades, de manera de encontrar el punto óptimo que beneficie a todas las partes. Así, una planta de H₂V posicionada en el litoral y que extraiga agua de mar para desalar podría destinar un porcentaje del agua tratada para las poblaciones cercanas y así dar una solución a la población.

Es importante que para los procesos de desalación y generación de salmuera se cuente con una normativa legal que tome en consideración la realidad local de cada zona geográfica, para lograr el abastecimiento de agua para la industria y las comunidades, evitar la contaminación del mar, optimizar su uso y reducir las aguas residuales.

5.6.12. Protección de la calidad del aire.

Durante la etapa de construcción de proyectos generadores de ERNC y de H₂v se emiten diferentes contaminantes atmosféricos por la maquinaria y vehículos utilizados, afectando la calidad del aire local (GIZ *et al.*, 2021). Medidas para disminuir estos efectos adversos sobre el medioambiente y la salud de la población sería transitando hacia la utilización de electromovilidad, tecnologías propulsadas por electricidad con bajas emisiones contaminantes. A su vez, como el reemplazo por esta tecnología es lenta producto de las mayores inversiones iniciales, el Estado debería crear programas de cofinanciamiento.

5.6.13. Evaluación de Impacto Social.

La Evaluación de Impacto Ambiental aborda someramente los impactos sociales, sin otorgarle el verdadero peso que estos tienen (ALEDO y AZNAR-CRESPO, 2021). La Ley N° 19.300 (CHILE, 1994) no contempla la obligatoriedad de la realización de un estudio independiente dirigido específicamente a la evaluación de las consecuencias sociales que generará la instalación/operación de un proyecto. Si bien contempla y asegura procesos de participación ciudadana desde etapas tempranas, estos finalmente no son vinculantes y todo el proceso puede quedar en nada.

La Evaluación de Impacto Social puede complementar las Evaluaciones de Impacto Ambiental (ALEDO y AZNAR-CRESPO, 2021). La construcción y operación de plantas de generación de ERNC o de H₂v afectan el bienestar de las comunidades dentro del área de influencia del proyecto, por lo que es importante conocer de antemano las consecuencias sociales que éstos provocarán.

La Evaluación de Impacto Social es una herramienta que permite evaluar, planificar y gestionar el cambio social derivado del desarrollo de un proyecto. Así, ayuda a predecir y mitigar los impactos negativos, identificar oportunidades para mejorar los beneficios para las comunidades y optimizar las

ubicaciones de construcción del proyecto para minimizar la resistencia pública y los comentarios y actitudes negativos hacia el proyecto (GIZ *et al.*, 2021).

Chile es un país con una gran cantidad de conflictos socioambientales (TEMPER *et al.*, 2022), lo que significa que las herramientas utilizadas para la evaluación del “*sentir social*” no son suficientes. Entonces, una Evaluación de Impacto Social independiente y obligatoria podría ser una herramienta de ayuda a la sostenibilidad de todo tipo de proyectos.

5.6.14. Creación de Valor Compartido y Desarrollo Comunitario.

Los sitios ideales para la construcción de plantas solares o eólicas suelen ubicarse en zonas rurales de difícil acceso y carentes de infraestructura básica. Es necesario explotar los beneficios en infraestructura y desarrollo de servicios locales que podrían acarrear consigo la construcción de proyectos vecinos a lugares sin urbanizar o a comunidades indígenas mitigando, por supuesto, las contaminaciones sonoras, visuales y al medioambiente que pudiesen ocasionarse. Construcciones que podrían tratarse de carreteras, escuelas, hospitales o de servicios como suministro de electricidad. Entonces, aquí es necesario realizar un plan de desarrollo de infraestructura local en paralelo con la planificación del proyecto, en conjunto con la comunidad, las autoridades

locales y teniendo como meta los objetivos ODS. Todo esto puede traer consigo la aceptación social del proyecto porque éste mejora el bienestar de las comunidades afectadas de una manera sostenible. Y esto último significa que este bienestar se debe mantener en el tiempo. Es así como los titulares de proyectos deben pasar desde la clásica modalidad de “*asistencialismo*”, donde la empresa cubre en un corto plazo y por única vez algunas carencias materiales de las comunidades, a una modalidad de “*creación de valor compartido*”, donde se combina virtuosamente el desarrollo empresarial con la prosperidad social. Parte de las utilidades de las empresas se destinan al mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales en el territorio en donde ejecutan su actividad económica. Entonces, obtienen el apoyo de la comunidad y se convierte en una virtuosa relación win-win (Daza et al., 2018).

5.6.15. Desarrollo económico y creación de empleo locales.

Las empresas de generación ERNC o de H₂v podrían avanzar hacia políticas de sustentabilidad que contemplen la contratación de trabajadores de las localidades en donde se emplazarán los proyectos y la compra de suministros dentro de la región. De esta forma se potenciará el desarrollo de la economía local, mejorando el nivel de vida y bienestar de las comunidades. Este

crecimiento económico impulsará la creación de empresas locales de servicios básicos, como alimentación y alojamiento para los trabajadores (GIZ *et al.*, 2021).

En este mismo sentido, también las empresas podrían financiar la capacitación de trabajadores para el desarrollo de empleos que requieren conocimientos más técnicos.

Existe un programa denominado “*Programa de Proveedores de Clase Mundial*” desarrollado en conjunto por CORFO, Ministerio de Economía, Ministerio de Minería, Fundación Chile y las compañías mineras en Chile Antofagasta Minerals, BHP y Codelco (CONSEJO MINERO, 2016). Este programa busca promover el desarrollo de empresas nacionales proveedoras de servicios, tecnologías y equipos para la minería con el potencial de dar soluciones innovadoras a distintos desafíos que presenta tanto la minería y otras industrias, nacionales e internacionales. Las empresas mineras identifican un problema sin solución que tiene el potencial de ser resuelto generando beneficios económicos, ambientales y comunitarios, invitan a diferentes proveedores para resolverlos y posteriormente seleccionan las mejores propuestas y las promueven. Este tipo de programas se podría implementar en la futura industria del H₂v y sus derivados, donde hay un gran potencial para crear nuevas tecnologías y mejoras de procesos.

5.6.16. Eficiencia y mejora del acceso a la energía

Desde febrero del año 2021 Chile cuenta con la Ley N° 21.303 sobre Eficiencia Energética (CHILE, 2021), cuyo objetivo es perseguir el uso racional y eficiente de los recursos energéticos en el transporte, industria, minería y en los sectores residencial, público y comercial. La meta al 2030 es lograr una reducción de intensidad energética de un 10% al 2030, respecto al 2019.

Sin embargo, lo anterior es insuficiente si no se logra cumplir con el ODS 7, Energía asequible y no contaminante, mediante el cual se busca garantizar el acceso a una energía segura y sostenible para todos. Así, a enero del 2021, en Chile se alcanzó una cobertura eléctrica nacional igual al 99,6% y a nivel rural del 96,5%, estimándose un total de 24.556 viviendas sin acceso a energía eléctrica y 5.086 con acceso parcial. Las tres regiones con mayor cantidad de viviendas sin electricidad fueron Los Lagos, La Araucanía y Coquimbo (Ministerio de Energía, 2019). Y, aunque aún queda camino por recorrer, el H₂v puede transformarse en un excelente aliado como vector energético, siendo generado en zonas ricas en energía solar o eólica cercanas a estas regiones y ser transportado posteriormente a estas zonas vulnerables.

5.6.17. Educación y capacitación local

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde contempla la formación de capacidades nacionales requeridas por la industria a través de las instituciones de educación nacionales existentes. Así, existen algunas Universidades que imparten cursos de posgrado en H₂v. Sin embargo, lo difícil es llevar esa capacitación a terreno, a las comunidades que serán intervenidas por los proyectos.

Para que la comunidad se sienta comprometida con los proyectos, las empresas no sólo deben contratar a trabajadoras y trabajadores o profesionales, sino también generar un sistema de gestión que contemple una participación activa y vinculante de la gente en el desarrollo de todo el proceso.

5.6.18. Derechos de comunidades indígenas

Los pueblos originarios tienen derecho de ser reconocidos y de mantener su cultura, para lo cual se deben brindar protecciones especiales como pueblo, para que puedan mantener su historia, su lengua, tradiciones y su cosmovisión. Chile, como país firmante del convenio 169 de la OIT debe resguardar estos derechos.

Muchos proyectos ERNC que se emplazaron en territorios con reivindicaciones de pueblos originarios terminaron judicializados, incrementando inevitablemente sus costos de inversión. Más allá de buscar las causas de estos conflictos socioambientales, es importante recalcar que los derechos de estas comunidades indígenas están garantizados por convenios internacionales, que Chile debe cumplir.

Una Evaluación de Impacto Social es capaz de abordar los derechos de los pueblos indígenas, los cuales pueden tener derechos legales y culturales sobre las tierras bajo la influencia de un proyecto.

5.6.19. Salud y seguridad

El riesgo de fuga del H₂v es muy importante debido a que se trata de un gas explosivo. El riesgo de fugas de derivados del H₂v, como el amoníaco son contaminantes que pueden provocar severos daños a la biodiversidad, contaminar aguas superficiales como ríos, lagos o el mar. También pueden provocar daños a la salud si la fuga es de gases tóxicos que llegan directamente a la atmósfera, como es el caso del amoníaco o del metanol.

Por lo antes mencionado, es de suma importancia que se legisle en temas de salud y seguridad en proyectos relacionados con cualquier etapa dentro de la cadena de valor de H₂v. De esta forma se resguardará la salud de las personas y del medioambiente.

5.6.20. Exigencia de Estudios de Impacto Ambiental (EIA).

Para contar con proyectos sostenibles de generación de ERNC, H₂v y sus derivados, es fundamental su evaluación previa de manera profesional y minuciosa para poder encontrar todos los impactos negativos que estos podrían generar sobre su entorno. La mejor forma de realizarlo es a través de la exigencia que estos proyectos ingresen al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental a través de un Estudio de Impacto Ambiental. Esto obliga realizar modificaciones sobre los artículos 10 y 11 de la Ley 19.300 (CHILE, 1994) que describe y regula los tipos de proyectos que deben someterse a evaluación ambiental y bajo qué casos esta evaluación debe ser mediante un estudio de impacto ambiental. Estas modificaciones a la ley son necesarias y están en línea con un crecimiento económico sostenible, según lo estipulado en la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde.

5.6.21. Acceso a la información

Un estudio realizado en Alemania encontró que, de 18 empresas intensivas en energía que podrían llegar o ya utilizan H₂v, 17 consideraban comprar a terceros el H₂v y, de ellas, 3 mencionaban a Chile como un potencial exportador de hidrógeno o de sus derivados (GIZ *et al.*, 2021). Aunque parezca un número menor, es increíble que empresas de este nivel ya piensen en Chile como su principal proveedor de H₂v. Esto se ha conseguido porque Chile ha establecido toda una campaña para dar a conocer sus potenciales en cuanto a la producción de H₂v.

Si Chile logró mostrarse internacionalmente, también lo podrá hacer dentro del territorio nacional. Y es imprescindible que lo haga. La ciudadanía debe conocer las ventajas y desventajas que ofrece el nuevo mercado que se comienza a abrir camino en el país. A través de la información se logrará crear mano de obra capacitada y concientizar a la población acerca del H₂v y las ventajas que ofrece para el desarrollo sostenible del país.

5.6.22. Fomentar el transporte nacional cero emisiones

El sector transporte es responsable de la emisión de un 25,5% de los GEI a nivel nacional (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2022a), además del impacto local por contaminación atmosférica provocado en las ciudades, por lo que la persecución de su descarbonización es fundamental para lograr el objetivo de cero emisiones del país al año 2050.

Aunque la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde contempla la utilización a largo plazo del H₂v para la fabricación de combustibles sintéticos para uso a nivel local y para su exportación, desconoce variables económicas, legales, de infraestructura e informativas que podrían actuar como barreras para el uso del H₂v en el sector transporte. En este sentido, el 01 de enero del 2022 se publicó la Estrategia Nacional de Electromovilidad (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2022a), que vislumbra a la electrificación del transporte como una oportunidad para volverlo sostenible y cuya meta más ambiciosa es que al año 2035 el 100% de los vehículos livianos, medianos y de transporte público vendidos en Chile sean cero emisiones. Este tipo de vehículos son aquellos alimentados por energía eléctrica generada desde fuentes sostenibles, cuyo motor eléctrico puede ser alimentado con electricidad directamente desde baterías o desde celdas de combustible capaces de reaccionar con H₂v (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2022a).

Dicha Estrategia plantea desarrollar al 2025 un Plan Nacional de ubicaciones referenciales para expandir la red de puntos de carga de electricidad a lo largo de todo el país junto con impulsar el establecimiento de la regulación para los centros de carga para vehículos de H₂v con celdas de combustible.

Entonces, si bien la Estrategia de Electromovilidad reconoce distintas barreras relacionadas con el uso del H₂v en el sector transporte, es importante destacar que podría utilizar la sinergia con el uso del H₂, ya sea como combustible o como precursor para la síntesis de combustibles sintéticos, como impulsor para el ingreso al mercado nacional de esta industria y de su expansión, acelerando así la descarbonización del sector transporte. La pronta instalación de estaciones de repostaje de H₂v suficientes y accesibles para los usuarios finales ayudará a su aceptación social de manera más rápida (AHMED *et al.*, En prensa).

Tabla 8: Distintos componentes que originan las barreras chilenas para el desarrollo de la industria del H₂v en Chile, junto con distintas propuestas de sostenibilidad para cada una de ellas.

Componentes Barrera	Económicos	Técnicos	Legales	de Mercado	Geográficos o Ambientales	Socio-culturales	Propuestas de Sostenibilidad
Elevado costo de producción de H₂v	Elevados costos de producción. Producir H ₂ desde energías limpias cuesta entre 3,0 a 7,5 USD/Kg y desde gas natural 0,9 a 3,2 USD/Kg.	Electrolizadores deben ser importados. Tecnologías de transporte y almacenamiento de H ₂ v aún no están maduras.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	No se han desarrollado economías de escala para su producción.	Ubicaciones con excelente disponibilidad de recursos renovables en zonas alejadas del norte y sur del país.	Demandas socioambientales paralizan los proyectos y encarecen costos.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos 5.5.5. Fomentar la ecologización industrial 5.5.7. Impuesto al carbono
Industria del H₂v no competitiva	Costos no competitivos. Producir H ₂ desde energías limpias cuesta entre 3,0 a 7,5 USD/Kg y desde gas natural 0,9 a 3,2 USD/Kg.	Electrolizadores deben ser importados. Tecnologías de transporte y almacenamiento de H ₂ v aún no están maduras.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	No se han desarrollado economías de escala para su producción.	Ubicaciones con excelente disponibilidad de recursos renovables en zonas alejadas del norte y sur del país.	Demandas socioambientales paralizan los proyectos y encarecen costos.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos 5.5.5. Fomentar la ecologización industrial 5.5.7. Impuesto al carbono
Impedir la expansión de la industria de H₂v	Falta de crecimiento económico.	Tecnologías aún en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de una industria madura y establecida. Falta cerrar acuerdos comerciales para asegurar demanda.	Ubicaciones con excelente disponibilidad de recursos renovables en zonas alejadas del norte y sur del país.	Demandas socioambientales paralizan los proyectos y encarecen costos.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos 5.5.5. Fomentar la ecologización industrial 5.5.7. Impuesto al carbono
Elevado costo de uso del H₂v	Elevados costos de producción. Producir H ₂ desde energías limpias cuesta entre 3,0 a 7,5 USD/Kg y desde gas natural 0,9 a 3,2 USD/Kg.	Tecnologías de uso final aún en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de una cadena de suministro para el H ₂ v. Falta cerrar acuerdos comerciales para asegurar demanda.	Riesgos asociados a la seguridad.	Desinformación en la población.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos 5.5.5. Fomentar la ecologización industrial 5.5.7. Impuesto al carbono
Ausencia de apoyo económico nacional a los proyectos de H₂v	Riesgos en el financiamiento al tratarse de una tecnología nueva.	Mecanismos de financiamiento son pocos y están recién desarrollándose.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.		Debido a los recursos públicos acotados, el Estado los prioriza para lograr el bienestar social a corto plazo.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos
No financiar la I+D en el uso del H₂v	Muy pocos fondos destinados a la I+D.	Pocos mecanismos para postular al financiamiento.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	No prioriza la inversión en I+D		Debido a los recursos públicos acotados, el Estado los prioriza para lograr el bienestar social a corto plazo.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos

No desarrollar una economía de escala del H₂v	Costos no competitivos contra combustibles fósiles. Producir H ₂ desde energías limpias cuesta entre 3,0 a 7,5 USD/Kg y desde gas natural 0,9 a 3,2 USD/Kg.	Tecnologías aún en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.	Zonas protegidas en donde no se pueden localizar proyectos.	Desinformación en la población para asegurar la demanda.	5.5.5. Fomentar la ecologización industrial 5.5.7. Impuesto al carbono
No atraer inversión extranjera	Costos no competitivos contra combustibles fósiles. Producir H ₂ desde energías limpias cuesta entre 3,0 a 7,5 USD/Kg y desde gas natural 0,9 a 3,2 USD/Kg.	Tecnologías aún en desarrollo.	No hay leyes promulgadas, por lo que no hay certeza jurídica para inversionistas.	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.	Zonas protegidas en donde no se pueden localizar proyectos.	Clima social inestable debido a demandas no atendidas por décadas.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
No fomentar la inversión en electrolizadores	Alto costo al 2020 = 770 USD/kW. Estimándose los 540 USD/kW al 2030 y 370 USD/kW al 2050.	Electrolizadores deben ser importados.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Hay pocas empresas fabricantes de electrolizadores.	Ubicaciones con excelente disponibilidad de recursos renovables en zonas alejadas del norte y sur del país.	Lugares ricos en recursos renovables están emplazados en zonas con reivindicaciones indígenas.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos
Elevado costo de las energías renovables	Elevados costos de inversión inicial	Riesgos tecnológicos al tratarse de una industria en desarrollo.	Riesgos asociados a la judicialización de los proyectos, que se traduce en un incremento de los costos.	La utilización de combustibles fósiles es un mercado rentable y maduro.	Las ERNC de mayor diversificación en Chile (eólica y solar) ocupan grandes extensiones de terrenos.	Lugares ricos en recursos renovables están emplazados en zonas con reivindicaciones indígenas.	5.5.4. Priorizar la producción de H ₂ v desde fuentes solares 5.5.7. Impuesto al carbono
No adoptar tecnologías que permitan reducir los costos de H₂v	La tecnología es demasiado costosa	Riesgos tecnológicos al tratarse de una industria en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	La utilización de combustibles fósiles es un mercado rentable y maduro.	Ubicaciones con excelente disponibilidad de recursos renovables en zonas alejadas del norte y sur del país.	Tecnología poco conocida, por lo que los inversores prefieren industrias con mayor rentabilidad al corto plazo.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos
No fomentar asociaciones público-privadas en la industria del H₂v	Riesgos en el financiamiento al tratarse de una tecnología nueva.	Riesgos tecnológicos al tratarse de una industria en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	La utilización de combustibles fósiles es un mercado rentable y maduro.	Ubicaciones con excelente disponibilidad de recursos renovables en zonas alejadas del norte y sur del país.	Tecnología poco conocida, por lo que los inversores prefieren industrias con mayor rentabilidad al corto plazo.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos
Ausencia de acuerdos comerciales y colaboraciones internacionales	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías de almacenamiento y transporte aun en desarrollo.	No existe regulación internacional.	La utilización de combustibles fósiles es un mercado rentable y maduro.	Mayores países importadores ubicados en otros continentes.	Tecnología poco conocida, por lo que los inversores prefieren industrias con mayor rentabilidad al corto plazo.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v 5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos
Ausencia de colaboraciones intersectoriales en la industria del H₂v	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías de almacenamiento y transporte aun en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	La utilización de combustibles fósiles es un mercado rentable y maduro.	Ubicaciones con excelente disponibilidad de recursos renovables en zonas alejadas del norte y sur del país.	Tecnología poco conocida, por lo que los inversores prefieren industrias con mayor rentabilidad al corto plazo.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v 5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos

No incentivar la generación de trabajos verdes	Falta financiamiento para las nuevas carreras o cursos requeridos.	Falta capital humano avanzado.	Faltan normas que fomenten la información ciudadana en la materia.	Hace pocos años que las Universidades y Centros de Formación Técnica están impartiendo carreras relacionadas.	Los puestos de trabajo relacionados se ubican en zonas apartadas.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.15. Desarrollo económico y creación de empleo locales
No fomentar la ejecución de proyectos piloto para el H₂v	La industria es nueva, por lo que debe asumir elevados costos iniciales.	Ausencia de una coordinación entre producción y demanda de H ₂ v.	Como la regulación no existe, los proyectos pilotos no tienen certeza jurídica.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Se fomentan proyectos tempranos, apresurando la obtención de permisos y poniendo en riesgo el medioambiente.	Demandas socioambientales paralizan los proyectos y encarecen costos.	5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos
No fomentar los productos finales con sello verde	Brechas de costo con los combustibles fósiles que encarecen la producción verde.	Estándares de productos con sello verde en desarrollo o aún no están normalizados.	No existen fuertes impuestos al carbono.	Importa la calidad del producto final, no su procedencia.	La certificación verde no está normalizada a nivel internacional.	Compradores no se fijan en la procedencia del producto.	5.5.6. Garantía de Origen y Certificaciones sostenibles para el H ₂ v y sus derivados
Falta de beneficios económicos para consumidores	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	El consumo no sería masivo al corto plazo, por lo que el transporte de H ₂ v sería en pequeños volúmenes y hacia muchos lugares.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.14. Creación de valor compartido y desarrollo comunitario 5.5.15. Desarrollo económico y creación de empleo locales
No priorizar el uso del H₂v en áreas que resulten más rentables	La industria es nueva, por lo que debe asumir elevados costos iniciales.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	Como la regulación no existe, no hay certeza jurídica.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Hay que transportar el H ₂ v desde donde es producido hasta su uso final.	Tecnología poco conocida, por lo que los inversores prefieren industrias con mayor rentabilidad al corto plazo.	5.5.5. Fomentar la ecologización industrial
Ausencia de una cadena de suministro para el H₂v	La industria es nueva, por lo que debe asumir elevados costos iniciales.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	Aún no hay regulación específica, de momento cae bajo la regulación del DS 43:2016 Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte desde un lugar a otro.	Debido a los recursos públicos acotados, el Estado los prioriza para lograr el bienestar social a corto plazo.	5.5.2. Financiamiento verde
Falta de infraestructura segura para el transporte y distribución de H₂v	La industria es nueva, por lo que debe asumir elevados costos iniciales.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	Aún no hay regulación específica, de momento cae bajo la regulación del DS 43:2016 Reglamento de almacenamiento de sustancias peligrosas	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte desde un lugar a otro.	Recién se está recabando el conocimiento necesario	5.5.19. Salud y seguridad
No incentivar la innovación tecnológica en la industria del H₂v	La industria es nueva, por lo que debe asumir elevados costos iniciales.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.	Hay que transportar el H ₂ v desde donde es producido hasta su uso final.	Debido a los recursos públicos acotados, el Estado los prioriza para lograr el bienestar social a corto plazo.	5.5.2. Financiamiento verde 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos

Inseguridad a lo largo de la cadena de suministro de H₂v	La industria es nueva, por lo que debe asumir elevados costos iniciales.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte desde un lugar a otro.	Recién se está recabando el conocimiento necesario	5.5.19. Salud y seguridad
Desconocer las nuevas tecnologías en transporte basado en H₂v	La industria es nueva, por lo que debe asumir elevados costos iniciales.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte desde un lugar a otro.	Recién se está recabando el conocimiento necesario	5.5.5. Fomentar la ecologización industrial
Inseguridad en el uso final de H₂v: instalaciones y electrodomésticos	La industria es nueva, por lo que debe asumir elevados costos iniciales.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte desde un lugar a otro.	Recién se está recabando el conocimiento necesario	5.5.19. Salud y seguridad
Inseguridad de la matriz energética	La inversión en ERNC no es suficiente.	Debe incrementarse la penetración de ERNC en la matriz energética	La regulación debe ser más estricta en cuanto a la participación de ERNC al 2030.	Los combustibles fósiles en la generación energética aún son rentables.	ERNC son muy propensas al clima.	Demandas socioambientales paralizan los proyectos y encarecen costos.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v 5.5.4. Priorizar la producción de H ₂ v desde fuentes solares
Falta de disponibilidad de terrenos	Terrenos disponibles cada vez más costosos.	No todos los terrenos cumplen con los criterios para albergar proyectos de generación.	No hay normativa al respecto.	Competencia por los terrenos disponibles incrementa los precios.	Terrenos disponibles pueden alejarse de lo estipulado.	Lugares ricos en recursos renovables están emplazados en zonas con reivindicaciones indígenas.	5.5.9. Conservación de los suelos
Ausencia de carreras de formación relacionadas con el H₂v	Existen otras carreras de formación más rentables para un titulado al corto plazo.	Ausencia de especialistas en la materia. Los primeros profesionales expertos tendrán que importarse.	No hay políticas que fomenten la formación profesional en el área.	Falta de oferta laboral en el área.	Pocos centros de estudio ofrecen carreras relacionadas.	Falta de información de los potenciales estudiantes.	5.5.17. Educación y capacitación local 5.5.21. Acceso a la información
Falta de capital humano avanzado	Existen otras carreras de formación más rentables para un titulado al corto plazo.	Ausencia de especialistas en la materia. Los primeros profesionales expertos tendrán que importarse.	No hay políticas que fomenten la formación profesional en el área.	Falta de oferta laboral en el área.	Lugares de trabajo distantes de las grandes ciudades.	Falta de información de los potenciales estudiantes.	5.5.17. Educación y capacitación local 5.5.21. Acceso a la información
Falta de una pre-evaluación de la infraestructura de H₂v	La industria es nueva, por lo que debe asumir elevados costos iniciales.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Como es una tecnología en desarrollo hay otras industrias maduras que son más atractivas para la inversión.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte del H ₂ v desde un lugar a otro.	Recién se está recabando el conocimiento necesario	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v

No tener infraestructura para el desarrollo de energías renovables	La inversión en ERNC no es suficiente.	Debe incrementarse la penetración de ERNC en la matriz energética	La regulación debe ser más estricta en cuanto a la participación de ERNC al 2030.	Los combustibles fósiles en la generación energética aún son rentables.	ERNC son muy propensas al clima.	Demandas socioambientales paralizan los proyectos y encarecen costos.	5.5.4. Priorizar la producción de H ₂ v desde fuentes solares
Falta de capacitación en seguridad del H₂v en los servicios de emergencia	Existen otras carreras de formación más rentables para un titulado al corto plazo.	Ausencia de especialistas en la materia. Los primeros profesionales expertos tendrán que importarse.	No hay políticas que fomenten la formación profesional en el área.	Falta de oferta laboral en el área.	Lugares de trabajo distantes de las grandes ciudades.	Falta de información de los potenciales estudiantes.	5.5.17. Educación y capacitación local 5.5.19. Salud y seguridad 5.5.21. Acceso a la información
Falta de capacitación sobre la industria del H₂v en los entes reguladores	Existen otras carreras de formación más rentables para un titulado al corto plazo.	Ausencia de especialistas en la materia. Los primeros profesionales expertos tendrán que importarse.	No hay políticas que fomenten la formación profesional en el área.	Falta de oferta laboral en el área.	Lugares de trabajo distantes de las grandes ciudades.	Falta de información de los potenciales estudiantes.	5.5.17. Educación y capacitación local 5.5.19. Salud y seguridad 5.5.21. Acceso a la información
No fomentar la descarbonización industrial mediante el uso de H₂v	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala , lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte del H ₂ v desde un lugar a otro.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.5. Fomentar la ecologización industrial
Incorporación del H₂v en aquellas áreas de difícil descarbonización	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala , lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte del H ₂ v desde un lugar a otro.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.5. Fomentar la ecologización industrial
No fomentar el uso del H₂v como combustible en el transporte terrestre	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala , lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte del H ₂ v desde un lugar a otro.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.5. Fomentar la ecologización industrial 5.5.22. Fomentar el transporte nacional cero emisiones
No evaluar la incorporación del H₂v como combustible en el transporte marítimo	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala , lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte del H ₂ v desde un lugar a otro.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.5. Fomentar la ecologización industrial 5.5.22. Fomentar el transporte nacional cero emisiones
No contar con políticas que incentiven la producción de H₂v	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala , lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte del H ₂ v desde un lugar a otro.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v

No contar con políticas que incentiven la demanda de H₂v	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Ausencia de una coordinación entre producción y demanda de H ₂ v.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	El consumo no sería masivo al corto plazo, por lo que el transporte de H ₂ v sería en pequeños volúmenes y hacia muchos lugares.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
No fomentar el uso doméstico del H₂v	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Ausencia de una coordinación entre producción y demanda de H ₂ v.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	El consumo no sería masivo al corto plazo, por lo que el transporte de H ₂ v sería en pequeños volúmenes y hacia muchos lugares.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
Ausencia de regulación nacional sobre H₂v	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación internacional está recién creándose.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
No establecer plazos ni límites para la disminución de emisiones de GEI	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Los efectos del cambio climático no parecen ser tan extremos.	Desinformación, hay personas que no creen que el cambio climático es una realidad.	5.5.12. Protección de la calidad del aire
No evaluar la incorporación del H₂v como combustible en el transporte aéreo	Brechas de costo con los combustibles fósiles (Ministerio de Energía, 2022)	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte del H ₂ v desde un lugar a otro.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.5. Fomentar la ecologización industrial
No poseer una industria H₂v certificada (certificado de origen)	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación internacional está recién creándose.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.6. Garantía de Origen y Certificaciones sostenibles para el H ₂ v y sus derivados
Ausencia de revisión periódica de las políticas de H₂v	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación internacional está recién creándose.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
No trabajar con los mismos estándares y certificaciones internacionales de H₂v	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación internacional está recién creándose.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.6. Garantía de Origen y Certificaciones sostenibles para el H ₂ v y sus derivados

No incentivar la adición de energías renovables en la matriz energética	La inversión en ERNC no es suficiente.	Debe incrementarse la penetración de ERNC en la matriz energética	La regulación debe ser más estricta en cuanto a la participación de ERNC al 2030.	Los combustibles fósiles en la generación energética aún son rentables.	ERNC son muy propensas al clima.	Demandas socioambientales paralizan los proyectos y encarecen costos.	5.5.4. Priorizar la producción de H ₂ v desde fuentes solares
No agrupar la producción y demanda de H₂v a escala local	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Ausencia de una coordinación entre producción y demanda de H ₂ v.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte del H ₂ v desde un lugar a otro.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
Regulación y objetivos de la industria de H₂ no se adaptan a los cambios globales	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación internacional está recién creándose.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
No fomentar la mezcla de H₂v en las redes de gas natural	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación internacional está recién creándose.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
Falta de regulación sobre la reconversión de redes de gas para transporte de H₂v	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación internacional está recién creándose.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
Ausencia de regulación nacional adaptada a cada estado o jurisdicción, sobre H₂v	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación internacional está recién creándose.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
Planificación de los proyectos de H₂ no coordinada a nivel nacional	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Ausencia de una coordinación entre producción y demanda de H ₂ v.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Aun se desconoce las distancias y los métodos de transporte del H ₂ v desde un lugar a otro.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
No priorizar la aprobación de proyectos de H₂	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Se fomenta la aprobación rápida de los proyectos, descuidando materias ambientales.	Demandas socioambientales paralizan los proyectos y encarecen costos.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v 5.5.3. Financiamiento a proyectos pilotos

Falta de regulación al precio del carbono	No se pueden imponer impuestos a los combustibles fósiles si no hayan alternativas más económicas.	Tecnologías económicas, por lo que resulta difícil encarecerlas.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	El uso de combustibles fósiles es una Industria madura y ampliamente expandida.	Tecnologías alternativas a los combustibles fósiles requieren terrenos para instalarse.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.7. Impuesto al carbono
No fomentar la producción de combustibles sintéticos basados en H₂v	El precio del H ₂ v no es competitivo con respecto a los combustibles fósiles.	Tecnologías costosas porque aun están en desarrollo.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	Ausencia de economía de escala, lo que encarece los costos en todos los ámbitos.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	Demandas socioambientales paralizan los proyectos y encarecen costos.	5.5.6. Garantía de Origen y Certificaciones sostenibles para el H ₂ v y sus derivados
Políticas que no generen certeza jurídica para los inversionistas en H₂v	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v
No exigir la medición de la huella de carbono en la producción de H₂v	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	La sociedad civil aún no está informada sobre la materia.	5.5.1. Crear regulaciones para el H ₂ v 5.5.10. Protección ambiental
Deterioro ambiental	Los combustibles fósiles siguen siendo la alternativa más económica.	Tecnologías asociadas a combustibles fósiles son ampliamente utilizadas.	Faltan normas para potenciar aún más el uso de tecnologías limpias.	Los combustibles fósiles forman un mercado maduro.		Desinformación, hay personas que no creen que el cambio climático es una realidad.	5.5.8. Protección y conservación de la biodiversidad y los hábitats 5.5.9. Conservación de los suelos 5.5.10. Protección ambiental 5.5.12. Protección de la calidad del aire
No fomentar la aceptación social de H₂v	Los combustibles fósiles siguen siendo la alternativa más económica.	Tecnologías asociadas a combustibles fósiles son ampliamente utilizadas.	Faltan normas para potenciar aún más el uso de tecnologías limpias.	Los combustibles fósiles forman un mercado maduro.		Asimetrías de información sobre el H ₂ v, al tratarse de una industria incipiente.	5.5.13. Evaluación de Impacto Social 5.5.14. Creación de valor compartido y desarrollo comunitario 5.5.15. Desarrollo económico y creación de empleo locales 5.5.21. Acceso a la información
No incentivar el intercambio de conocimientos relacionados al H₂v	Los combustibles fósiles siguen siendo la alternativa más económica.	Tecnologías asociadas a combustibles fósiles son ampliamente utilizadas.	Faltan normas para potenciar aún más el uso de tecnologías limpias.	Los combustibles fósiles forman un mercado maduro.		Asimetrías de información sobre el H ₂ v, al tratarse de una industria incipiente.	5.5.21. Acceso a la información
Ausencia de colaboración entre Estado y otros actores (empresa, academia y sociedad civil)	Los combustibles fósiles siguen siendo la alternativa más económica.	Tecnologías asociadas a combustibles fósiles son ampliamente utilizadas.	Faltan normas para potenciar aún más el uso de tecnologías limpias.	Los combustibles fósiles forman un mercado maduro.		Asimetrías de información sobre el H ₂ v, al tratarse de una industria incipiente.	5.5.21. Acceso a la información

No educar a la población acerca de la industria del H₂v	Los combustibles fósiles siguen siendo la alternativa más económica.	Tecnologías asociadas a combustibles fósiles son ampliamente utilizadas.	Faltan normas para potenciar aún más el uso de tecnologías limpias.	Los combustibles fósiles forman un mercado maduro.		Asimetrías de información sobre el H ₂ v, al tratarse de una industria incipiente.	5.5.21. Acceso a la información
No considerar participación de las comunidades o pueblos originarios en proyectos de H₂v	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	Los modelos actuales fomentan la participación ciudadana cuando ya está definida la ubicación de los proyectos.	5.5.18. Derechos de comunidades indígenas
Uso de agua desde fuentes no sostenible para la producción de H₂v	Existen derechos de uso de agua privados.	Tecnologías de desalación sólo asociadas a la minería.	Derechos de aprovechamiento de aguas se otorgan por 30 años.	El agua se debe priorizar para consumo humano.	Sequía que afecta al país desde el año 2010. Zonas del país con déficit de agua para consumo humano.	La población aún no interioriza que el agua dulce es un bien finito.	5.5.11. Uso sostenible del agua
No fomentar el desarrollo responsable de la industria de H₂v	La economía recién se está abriendo a la materia.	Falta de experiencia técnica a nivel internacional.	La regulación no existe o está en etapas de trámite legislativo.	El mercado del H ₂ v en Chile todavía no se crea.	Se desconoce la totalidad de los riesgos la medioambiente asociados al uso masivo de H ₂ v.	Asimetrías de información sobre el H ₂ v, al tratarse de una industria incipiente.	5.5.14. Creación de valor compartido y desarrollo comunitario 5.5.15. Desarrollo económico y creación de empleo locales 5.5.20. Exigencia de EIA

Fuente: elaboración propia

La encuesta respondida por expertos arrojó los resultados mostrados en la Tabla 9, en donde todas las medidas de sostenibilidad mostraron puntajes sobre “2”, medianamente importante, por lo que los expertos las consideraron de importancia para un desarrollo sostenible del H₂v en Chile. Entre ellas, los puntajes más altos fueron para la creación de regulaciones para el H₂v, fomentar la industria verde, priorizar la producción de H₂v desde fuentes solares y eólicas, uso sostenible del agua, desarrollo económico y creación de empleos locales, educación y capacitación local y salud y seguridad.

Tabla 9: Puntajes asignados por expertos a las diferentes medidas de sostenibilidad propuestas.

Medida de sostenibilidad	Prom	Desv. Estándar
Crear regulaciones para el H ₂ v. Regulaciones que garanticen la certeza jurídica a los inversores.	2,91	0,30
Fomentar la industria verde. Descarbonizar distintos procesos industriales utilizando H ₂ v como combustible (reemplazando los combustibles fósiles) o como materia prima para producir productos finales con sello verde.	2,91	0,30
Priorizar la producción de H ₂ v desde fuentes solares y eólicas. Se ha propuesto que estas fuentes tienen los mejores rendimientos de producción, considerando factores económicos, sociales, ambientales, técnicos y de sostenibilidad (ACAR Y DINCER, 2019)	2,82	0,40
Uso sostenible del agua. Busca optimizar el uso del agua, tanto para las personas, medioambiente y la industria.	2,82	0,40
Desarrollo económico y creación de empleo locales. Busca la contratación de trabajadores de las localidades en que se emplazarán los proyectos y la compra de suministros dentro de la región.	2,82	0,40
Educación y capacitación local. Busca capacitar a las comunidades que serán intervenidas por el proyecto de H ₂ v.	2,82	0,40

Salud y seguridad. Busca resguardar la salud de las personas y al medioambiente.	2,82	0,40
Protección y conservación de la biodiversidad y los hábitats. Busca que los proyectos de producción de H ₂ v se ubiquen en zonas con el menor impacto sobre los hábitats y la biodiversidad.	2,73	0,47
Conservación de los suelos. Busca que los proyectos de producción de H ₂ v minimicen su afectación sobre los suelos.	2,73	0,47
Protección ambiental. Busca que la afectación medioambiental de los proyectos de producción de H ₂ v se minimice de manera global y no sólo local.	2,73	0,47
Evaluación de Impacto Social. Es una herramienta que permite evaluar, planificar y gestionar el cambio social derivado del desarrollo de un proyecto, con el fin de minimizar la resistencia pública.	2,73	0,47
Creación de Valor Compartido y Desarrollo Comunitario. Busca que los proyectos realicen un plan de desarrollo de infraestructura local en paralelo a la planificación del proyecto y en conjunto con la comunidad y autoridades.	2,73	0,47
Acceso a la información. Concientizar a la población nacional acerca de las ventajas del H ₂ v.	2,73	0,47
Financiamiento a proyectos pilotos de H ₂ v. Para disminuir la incertidumbre de los titulares con respecto a invertir en proyectos de gran escala	2,64	0,50
Financiamiento verde. Entidades públicas y privadas que prioricen el financiamiento de proyectos “verdes”.	2,55	0,52
Eficiencia y mejora del acceso a la energía. Busca que el H ₂ v generado pueda ser transportado a lugares poblados sin electricidad y dotarlas de energía.	2,55	0,52
Exigencia de Estudios de Impacto Ambiental (EIA). Para encontrar todos los impactos negativos de los proyectos de H ₂ v, es fundamental que obligatoriamente ingresen al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental mediante un EIA.	2,55	0,69
Fomentar el transporte nacional cero emisiones. Buscando descarbonizar el sector transporte fomentando la electromovilidad.	2,55	0,52

Garantía de Origen y Certificaciones sostenibles para el H ₂ v y sus derivados. Con esto se busca garantizar el origen sostenible tanto del H ₂ v como de sus derivados.	2,45	0,52
Impuesto al carbono. Busca desincentivar el uso de combustibles fósiles al mismo tiempo de dar mayor competitividad al H ₂ v.	2,45	0,69
Protección de la calidad del aire. Busca reducir la contaminación atmosférica de los proyectos de H ₂ v.	2,45	0,69
Derechos de comunidades indígenas. Busca reconocer los derechos de los pueblos originarios y evitar judicializaciones de los proyectos.	2,45	0,52

Fuente: elaboración propia a partir de las encuestas respondidas por expertos.

Otras medidas de sostenibilidad propuestas por los expertos fueron: impulsar el uso compartido de infraestructura crítica y fomentar los “valles de hidrógeno”, en donde varios proyectos compartan la infraestructura y minimicen el impacto global.

6. DISCUSIÓN

El calentamiento global y el cambio climático se intensifican cada vez con mayor intensidad. El IPCC urge a los distintos países a disminuir drásticamente sus emisiones de GEI para aminorar los efectos devastadores si la temperatura global del planeta supera los 2°C. En este escenario, está ocurriendo una transición energética mundial sin precedentes, dada su amplitud y profundo impacto en la economía, sociedad, política, medioambiente y desarrollo tecnológico. Y, aunque en la actualidad la eficiencia energética y las ERNC lideran dicha transición (IRENA, 2022), el futuro apunta hacia la electromovilidad y al uso del H₂v.

Por todo lo anterior, el H₂v asoma como una de las alternativas importantes para reemplazar a los combustibles fósiles, al ser ambientalmente amigable por no emitir GEI a la atmósfera durante su uso, aunque en la actualidad su producción es demasiado costosa, colocándolo en una posición de desventaja. Sin embargo, los expertos coinciden que al año 2030 los costos de producción de H₂v serán competitivos en comparación con el uso de combustibles fósiles; asumiendo la aparición de economías de escala y la disminución de costos de las tecnologías asociadas. Por tales motivos, Chile junto a una veintena de países

ya cuentan con Estrategias Nacionales de Hidrógeno Verde para alinear su crecimiento con este nuevo modelo de desarrollo que busca independizarse del consumo de combustibles ricos en carbono.

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde fue lanzada en noviembre del año 2020, cuyos principales objetivos son: convertirse en el productor de H₂v más barato del mundo, con precios que podrían estar entre los 1,3 a 1,4 USD/Kg de H₂v; cumplir los compromisos de disminución de emisiones estipulados en el acuerdo de París y; construir un mercado nacional de H₂v que podría igualar al de la minería al año 2050. Para alcanzar dichos objetivos, una serie de barreras de entrada deben ser superadas para que la industria del H₂v logre afianzarse y despegar en el mercado energético nacional.

Las Barreras de tipo Económico y Financieras que más se repiten tanto a nivel internacional como en Chile tienen que ver con los elevados costos dentro de la cadena de valor del H₂v, lo que tiene sentido debido a que aún no se alcanzan economías de escala que ayuden a disminuirlos, y a la falta de apoyo financiero tanto para los nuevos proyectos o para el desarrollo de nuevas tecnologías. Este último punto pareciera ser crucial en países que atraviesen por una crisis política, económica y/o social. Sin embargo, los estudios demuestran que los mayores costos de financiamiento de proyectos de H₂v no necesariamente impiden la inversión frente a estos escenarios. Esto se ha

demostrado para las industrias del gas y del petróleo, en donde la inversión se realizó pese al riesgo país, siempre y cuando el potencial de ingresos calculado sea suficiente. En el caso de Chile, esto se aplicaría perfectamente debido al bajo costo potencial de producción calculado para el H₂v (IRENA, 2022).

Se observaron discrepancias en las barreras relacionadas con la utilización del H₂v en transporte terrestre, debido a que en la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde Chile no las identifica. Lo anterior podría poner en jaque alcanzar los NDC comprometidos por Chile en el año 2020 como país firmante del Acuerdo de París (GOBIERNO DE CHILE, 2020). Sin embargo, dichas barreras son recogidas por otra estrategia, la Estrategia Nacional de Electromovilidad, cuya visión es alcanzar el uso masivo de transporte cero emisiones (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2022a) y, para cuyo fin, se pretende promover el uso del H₂v como combustible en el transporte y la planificación de estaciones de repostaje.

Las Barreras Técnicas y de Infraestructura identificadas tienen relación con aquellas que dificultan la cadena de suministro y la seguridad a lo largo de la cadena de valor del H₂v. En este sentido, hay una preocupante ausencia en la Estrategia Nacional de H₂v de aquellas barreras relacionadas con la geología de las localizaciones de los proyectos, tomando en cuenta la elevada actividad sísmica del país. Así, deberían llevarse a cabo minuciosos estudios relacionados

con la eventualidad de maremotos al escoger la instalación de electrolizadores cerca del borde costero o relacionado con actividad sísmica al instalarlos sobre fallas geológicas activas.

Superar las Barreras Institucionales y Regulatorias resulta clave para promover la incipiente industria del H₂v, tanto en Chile como en el mundo. Y en este sentido, tener acceso a abundantes energías renovables es una ventaja en la carrera por el H₂v, aunque podría no ser suficiente. Muchos otros factores entran en juego, incluida la infraestructura existente y la combinación energética actual, junto con el costo de capital y el acceso a las tecnologías necesarias. Si el potencial técnico se puede realizar o no también dependerá de otras áreas, tales como el apoyo del gobierno, el clima de inversión y la estabilidad política (IRENA, 2022). Por lo anterior, muchas barreras son de origen multifactorial, lo que dificulta su solución.

Las Barreras de Información y Conciencia Pública resultan importantes porque de ellas derivan los rechazos de la ciudadanía hacia los proyectos relacionados con la materia. En este sentido, un estudio utilizó un cuestionario y analizó 749 encuestas de habitantes de lugares en donde se utilizaba H₂v a pequeña escala, encontrando que el conocimiento sobre el hidrógeno como fuente de energía y la seguridad de la producción y los métodos de almacenamiento del hidrógeno en estas zonas era muy bajo. Entonces, las

actitudes negativas hacia la energía del hidrógeno pueden ser una barrera importante en el desarrollo de esta energía en muchos países en donde el H₂v aún es desconocido para la población (INGALDI Y KLIMECKA-TATAR, 2020), sobre todo en Chile, que posee una gran cantidad de conflictos socioambientales relacionados con proyectos energéticos.

Una especial mención requieren tres barreras que adquieren una importancia mayúscula considerando la realidad del país: desatender las demandas de las comunidades, que posteriormente conducen a la judicialización de los proyectos (STUBING *et al.*, 2021; Temper *et al.*, 2022); uso desmedido de agua, pensando que el país sufre una severa sequía y que hay zonas que carecen de agua potable (CEP, 2021; STUBING *et al.*, 2021); falta de responsabilidad empresarial, pensando en las colusiones y cobros abusivos cometidos por diversas empresas durante los últimos años (GOECKE, 2020).

Para superar esta serie de barreras que actuarían obstaculizando la entrada y maduración de la industria del H₂v en el mercado energético nacional, en este Proyecto se proponen un total de 22 medidas sostenibles, las cuales se listan a continuación: crear regulaciones para el H₂v, financiamiento verde, financiamiento a proyectos piloto, priorizar la producción de H₂v desde fuentes solares y eólicas, fomentar la industria verde, garantía de origen y certificaciones sostenibles para el H₂v y sus derivados, impuesto al carbono, protección y

conservación de la biodiversidad y los hábitats, conservación de los suelos, protección ambiental, uso sostenible del agua, protección de la calidad del aire, evaluación de impacto social, creación de valor compartido y desarrollo comunitario, desarrollo económico y creación de empleo locales, eficiencia y mejora del acceso a la energía, educación y capacitación local, derechos de comunidades indígenas, salud y seguridad, exigencias de estudios de impacto ambiental, acceso a la información y fomentar el transporte cero emisiones

Hay un par de medidas que requieren una mención especial debido a que son bastante innovadoras en la materia. Primero, la exigencia de EIA en todos los proyectos energéticos que requieran ser aprobados por el SEA. Lo anterior, porque hasta ahora, según lo descrito por la Ley N° 19.300, algunos proyectos ingresan a evaluación a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) y otros por un EIA. De esta manera se evitaría que los titulares de proyectos los adapten para no tener que realizar un EIA y, al mismo tiempo, se asegura que se realizarán estudios detallados de todos los potenciales impactos que el proyecto pudiese ocasionar. Y, en segundo lugar, la obligatoriedad de realizar una Evaluación de Impacto Social dentro de cada EIA. La alta tasa de judicialización de proyectos debido al surgimiento de conflictos socioambientales se traduce en que algo se está haciendo mal en la materia: no se está escuchando a las comunidades. Esta Evaluación de Impacto Social ayuda a conocer el sentir de las comunidades ante la potencial instalación de un proyecto, ayudando a

escoger las zonas en donde genera menor rechazo, y permite conocer sus carencias, de modo que el proyecto pueda interiorizarlas y darles una solución sostenible.

La tasa de respuesta de la encuesta fue de solo un 27,5%, lo que podría explicarse por dos motivos principales: 1) los correos de los expertos fueron obtenidos a través de páginas web, lo que no aseguraba que estos fueran sus correos actualizados y los más utilizados por ellos, y 2) porque los correos enviados podrían haber caído en la carpeta de spam de los e-mails destinatarios. Este último caso fue expuesto por uno de los expertos, quien señaló que encontró el correo en su carpeta de spam.

La encuesta respondida por el grupo de expertos confirmó los resultados obtenidos en este Proyecto. En primer lugar, otorgándole un puntaje sobre 2,18 (siendo que “2” significaba medianamente importante) a todas las barreras encontradas con mayor reiteración en las estrategias de H₂v de distintos países. Y, en segundo lugar, los expertos también mostraron alta coincidencia con las medidas de sostenibilidad aquí propuestas, otorgando un puntaje sobre 2,45 (con “2” significando medianamente importante) a todas ellas.

El H₂v es una tecnología que está generando una discusión en el país y que requiere de una profunda reflexión para que no se convierta en una solución

utópica. Chile tiene el potencial de convertirse en el líder mundial en producción de H₂v y es una oportunidad que requiere de una decisión y voluntad política. La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde ha identificado varias barreras y es ahora cuando hay que ponerse a trabajar para superarlas de la manera correcta, mirando hacia el futuro que queremos construir.

7. CONCLUSIONES

Se identificó una gran cantidad de barreras para el desarrollo del H₂v entre todas las Estrategias Nacionales analizadas. Barreras como no evaluar la incorporación del H₂v como combustible en el transporte marítimo o terrestre, no contar con una regulación nacional sobre H₂v, ausencia de apoyo económico nacional a los proyectos de H₂v, elevado costo de producción del H₂v, ausencia de acuerdos y colaboraciones internacionales, falta de financiamiento a la I+D en el uso de H₂v, inseguridad a lo largo de la cadena de suministro de H₂v y ausencia de incentivo a la innovación tecnológica en la industria del H₂v son transversales a prácticamente todos los países. Por el contrario, hay barreras que por su especificidad son encontradas en sólo un país, como por ejemplo la falta de regulación de la energía eólica offshore. De lo anterior, se puede concluir que las barreras para el desarrollo del mercado del H₂v dependen tanto de los objetivos que se deseen alcanzar como del nivel de desarrollo económico de cada nación.

Los resultados de este Proyecto fueron confirmados por un grupo de expertos que respondieron una encuesta, quienes consideraron entre una importancia intermedia y muy importante las barreras con mayores puntajes aquí obtenidas y las medidas de sostenibilidad propuestas.

En el caso de Chile, el H₂v ofrece una serie de oportunidades, pero para que éstas puedan ser alcanzadas hay que superar una serie de barreras de entrada que actúan impidiendo el desarrollo de este mercado en territorio nacional. Dentro de este contexto, las principales barreras identificadas fueron: elevados costos asociados al H₂v, falta de financiamiento, ausencia de acuerdos comerciales, falta de infraestructura, riesgos asociados a la seguridad del H₂v, descarbonizar una industria alimentada por combustibles fósiles, ausencia de regulaciones, despejar dudas respecto a posibles impactos al medioambiente y problemas para lograr la aceptación social.

Considerando que en Chile existe una alta judicialización de los proyectos de tipo energético, las siguientes barreras debiesen ser tratadas con especial cuidado: no promover la participación de las comunidades, uso de agua desde fuentes no sostenibles y desarrollo no responsable de la industria de H₂v.

En la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (MINISTERIO DE ENERGÍA, 2020a) se identificó la ausencia de barreras que, por su importancia a nivel nacional, debiesen ser al menos mencionadas: no considerar la geología en los proyectos, pensando en Chile como un país sísmico y; barreras relacionadas con el impedimento de la electromovilidad, que ayudaría a descontaminar ciudades y a promover el uso del H₂v.

Para superar las barreras identificadas en el presente estudio, se proponen un total de 22 medidas de sostenibilidad, entre las que destacan dos por su disrupción y ambición: 1) evaluación de impacto social y 2) estudios de impacto ambiental obligatorios.

La Evaluación de Impacto Social es una propuesta innovadora cuyo fin es reducir la cantidad de conflictos socioambientales. Por su parte, la exigencia de Estudios de Impacto Ambiental para todos los proyectos energéticos persigue una evaluación más holística, cuyos resultados tomando una mayor cantidad de variables brinden un conocimiento base más preciso para los tomadores de decisión.

8. GLOSARIO

CMNUCC	: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
CO₂	: Dióxido de Carbono
DIA	: Declaración de Impacto Ambiental
EIA	: Estudio de Impacto Ambiental
ERNC	: Energías Renovables No Convencionales
GEI	: Gases de Efecto Invernadero
H₂	: Hidrógeno
H₂v	: Hidrógeno verde
IEA	: Agencia Internacional de Energía (por sus siglas en inglés)
IPCC	: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
NDC	: Contribución Determinada a Nivel Nacional (por sus siglas en inglés)
ODS	: Objetivos de Desarrollo Sostenible
SEA	: Servicio de Evaluación Ambiental
SEC	: Superintendencia de Electricidad y Combustibles

9. BIBLIOGRAFÍA

ACAR, C. y DINCER, I. 2019. Review and evaluation of hydrogen production options for better environment. *Journal of Cleaner Production* 218:835-849.

AHMED, S. F., MOFIJUR, M., NUZHAT, S., RAFA, N., MUSHARRAT, A., LAM, S. S. y BORETTI, A. En prensa. Sustainable hydrogen production: Technological advancements and economic analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.12.029>.

AGRAWALA, S., AMANN, M., BINIMELIS DE RAGA, G., BORGFORD-PARNELL, N., BRAUER, M., CLARK, H., EMBERSON, L., HAINESS, A., KEJUN, J., KÜNZLI, N., KUYLENSTIERNA, J., LACY, R., LIU, J., MULUGETTA, Y., PACHAURI, S., RAMANATHAN, V., RAVISHANKARA, A. R., SHINDELL, D., WONGWANGWATANA, S. y SCIENTIFIC ADVISORY PANEL OF THE CLIMATE AND CLEAN AIR COALITION AND INVITED EXPERTS. 2020. Call for comments: climate and clean air responses to covid-19. *International Journal of Public Health* 65:525-528.

ALEDO, A. y AZNAR-CRESPO, P. 2021. Evaluación de impacto social: Una propuesta metodológica orientada a la gestión proactiva de proyectos. *OBETS. Revista de Ciencias Sociales* 16(2):245-262.

ANGLO AMERICAN. 2022. Noticias - 2022. [en línea] <<https://chile.angloamerican.com/media/press-releases/pr-2022/2022-05-06.aspx>> [consulta: 31 julio 2022]

BACON, F. T. 1960. Fuel Cells: Will they Soon become a Major Source of Electrical Energy? *Nature*, 186(4725):589–592.

BALL, M. y WIETSCHER, M. 2009. The future of Hydrogen: Opportunities and challenges. *International Journal of Hydrogen Energy* 34(2):615-627.

BLOOMBERGNEF. 2019. Climatescope. Emerging Markets Outlook 2019: Energy transition in the world's fastest growing economies. Londres, Bloomberg New Energy Finance. 58p.

BORDERA, J., VALLADARES, F., TURIE, A., PUIG, F., PRIETO, F., y HEWLETT, T. 2021. El IPCC advierte de que el capitalismo es insostenible. [en línea] <<https://ctxt.es/es/20210801/Politica/36970/IPCC-capitalismo-insostenible-informe-filtracion-cambio-climatico.htm>> [consulta: 31 julio 2022]

BUNDESMINISTERIUM. 2022. Wasserstoffstrategie für Österreich. Wien, Bundesministerium. 60p.

CENTRO DE ENERGÍA UC. 2020. Proposición de Estrategia Regulatoria del Hidrógeno para Chile. Santiago, Ministerio de Energía / GIZ. 171p.

CEP. 2021. Megasequía: Diagnóstico, impactos y propuestas (Vol. 559). [en línea] <https://www.cepchile.cl/cep/site/docs/20210119/20210119125450/pder559_jjcrocco.pdf> [consulta: 01 junio 2022]

CHILE. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. 2007. Fija texto refundido, coordinado y sistematizado del Decreto con Fuerza de Ley N° 1, de minería, de 1982, Ley General de Servicios Eléctricos, en materia de Energía Eléctrica, 05 de febrero 2007. 201p.

CHILE. Ministerio de Energía. 2021. Ley 21.305: Sobre eficiencia energética, 13 de febrero 2021. 9p.

CHILE. Ministerio de Obras Públicas. 2022. Ley 21.435: Reforma el Código de Aguas, 06 de abril 2022. 40p.

CHILE. Ministerio del Medio Ambiente. 2022. Ley 21455: Ley Marco de Cambio Climático. 13 de junio 2022. 37p.

CHILE. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. 1994. Ley 19.300: Aprueba Ley sobre bases generales del medio ambiente, 09 de marzo 1994. 50p.

CNE. 2019. Anuario estadístico de energía 2018. Santiago, Ministerio de Energía. 172p.

COAG Energy Council. 2019. Australia's National Hydrogen Strategy. Canberra, COAG Energy Council Hydrogen. 136p.

COMISIÓN EUROPEA. 2020. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: El momento de Europa: reparar los daños y preparar el futuro para la próxima generación. En: PARLAMENTO EUROPEO: 27 de mayo del 2020. Bruselas, Comisión Europea. 21p.

CONSEJO MINERO. 2016. Proveedores mineros chilenos de exportación. [en línea] <Consejo Minero: <https://consejominero.cl/plataforma-social/proveedores-mineros-chilenos-de-exportacion/#:~:text=El%20Programa%20de%20Proveedores%20de,Antofagasta%20Minerals%2C%20BHP%20y%20Codelco>> [consulta: 21 junio 2021]}

CORFO. 2021. Corfo adjudica propuestas de Hidrógeno Verde que atraerán inversiones por 1.000 millones de dólares. [en línea] <https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/27_12_2021_ganadores_hidrogeno_ve_rde> [consulta: 21 de junio 2022].

DANISH MINISTRY OF CLIMATE, ENERGY AND UTILITIES. 2021. The Government's strategy for Power-to-X. Copenhagen, Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities. 64p.

DAZA, A., VILORIA, J. y MIRANDA, L. 2018. De la responsabilidad social empresarial (RSE) a la creación de valor compartido (CVC): una reflexión crítica sobre los dos conceptos. Aglala, 9(1):263–285.

DIARIO CONSTITUCIONAL. 2013. Juzgado de Valdivia acogió demanda por daño ambiental en el Río Cruces. [en línea] < <https://www.diarioconstitucional.cl/2013/07/29/juzgado-de-valdivia-acogio-demanda-por-dano-ambiental-en-el-rio-cruces/>> [consulta: 20 de junio 2022]

DIARIO CONSTITUCIONAL. 2019. CS revocó sentencia y acoge protecciones por contaminación en Quintero, Ventanas y Puchuncaví. [en línea] <<https://www.diarioconstitucional.cl/2019/05/30/cs-revoco-sentencia-y-acoge-protecciones-por-contaminacion-en-quintero-ventanas-y-puchuncavi/>> [consulta: 20 de junio 2022].

DINCER, I. y ACAR, C. 2016. A review on potential use of hydrogen in aviation applications. *International Journal of Sustainable Aviation*,2(1):74-100.

FEDERAL GOVERNMENT. 2022. Vision and strategy Hydrogen: Update October 2022. Bruselas, Federal Government. 40p.

FEDERAL MINISTRY FOR ECONOMIC AFFAIRS AND ENERGY. 2020. The National Hydrogen Strategy. Berlin, Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. 32p.

FERNÁNDEZ-BALBUENA, G. 2008. Las barreras para la entrada de competidores potenciales a los sectores de actividad y su influencia en la posibilidad de obtener beneficios en los mismos. Dirección, Organización y Administración de Empresas de La Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid 36:69-72.

FICHTNER GMBH & CO. KG, STUIBLE, A., MÉNDEZ, N. y GÓMEZ, A. 2020. Descarbonización del sector energético chileno Hidrógeno - cadenas de valor y legislación internacional. 1ª ed. Santiago, Ministerio de Energía / GIZ. 32p.

GALLARDO, F. I., MONFORTI, A., LAMAGNA, M., BOCCI, E., ASTIASO, D. y BAEZA-JERIA, T. E. 2021. A Techno-Economic Analysis of solar hydrogen production by electrolysis in the north of Chile and the case of exportation from Atacama Desert to Japan. *International Journal of Hydrogen Energy* 46(26):13709-13728.

GARCÍA, N. 2018. Implementación del Impuesto Verde en Chile. Valparaíso, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 10p.

GARCÍA, N. 2022. Instrumentos económicos para la Transición Energética. Valparaíso, Biblioteca del Congreso Nacional. 11p.

GARCIA, N., TORRES, R. y VIVANCO, E. 2020. Desarrollo del Mercado del Hidrógeno Verde en Chile: Oportunidades. Valparaíso, Biblioteca del Congreso Nacional. 12p.

GIZ, ILF INGENIERÍA CHILE LTDA y LBST. 2021. Requirements for the production and export of green-sustainable hydrogen. 1ª ed. Santiago, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 105p.

GOBIERNO DE CHILE. 2020. Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) de Chile - Actualización 2020. Santiago, Gobierno de Chile. 51p.

GOECKE R., S. A. 2020. La colusión del papel Tissue: Delación compensada, estándar probatorio y otros temas claves en el sistema chileno de libre competencia. Memoria para optar al grado de Licenciado en Ciencias Jurídicas y Sociales. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Derecho. 241p.

GOVERNMENT OF CANADA. 2020. Hydrogen Strategy for Canada: Seizing the Opportunities for Hydrogen - A call to action. Ottawa, Government of Canada. 141p.

GOVERNMENT OF FRANCE. 2020. National strategy for the development of decarbonised and renewable hydrogen in France [Provisional Draft English version]. Paris, Gouvernement. 18p.

GOVERNMENT OF HUNGARY. 2021. Hungary's National Hydrogen Strategy. Budapest, Government of Hungary. 15p.

GOVERNMENT OF THE NETHERLANDS. 2020. Government Strategy on Hydrogen. Amsterdam, Government of The Netherlands. 14p.

GUMPTA, R. C. 2014. Energy Resources, Its Role and Use in Metallurgical Industries. En: Seetharaman, S. (Ed.). Treatise on Process Metallurgy. Volume 3: Industrial Processes. Oxford, Elsevier. pp. 1425-1458.

HE, G., PAN, Y. y TANAKA, T. 2020. The short-term impacts of COVID-19 lockdown on urban air pollution in China. *Nature Sustainability* 3:1005-1011.

HM GOVERNMENT. 2021. UK Hydrogen Strategy. London, HM Government. 121p.

IEA. 2019. The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities. France, IEA Publications. 203p.

INGALDI, M. y KLIMECKA-TATAR, D. 2020. People's Attitude to Energy from Hydrogen—From the Point of View of Modern Energy Technologies and Social Responsibility, 13:6495, doi:10.3390/en13246495.

IPCC. 2014a. Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 1ª ed. Ginebra, IPCC. 157p.

IPCC. 2014b. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, Cambridge University Press. 1132p.

IPCC. 2018. Resumen para responsables de políticas: Calentamiento global de 1,5 °C. Suiza, IPCC. 32p.

IPCC. 2020. About the IPCC. [en línea]. < <https://www.ipcc.ch/about/> > [consulta: 13 de julio 2020]

IPCC. 2021. IPCC Press Release. Genova, IPCC. 6p.

IPCC. 2022. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Suiza, IPCC. 2913p.

IRENA. 2018. Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency. 52p.

- IRENA. 2019. Hydrogen: A Renewable Energy Perspective. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency. 52p.
- IRENA. 2022. Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor. Abu Dhabi , International Renewable Energy Agency. 118p.
- ITC. 2008. Energías renovables y eficiencia energética. 1ª ed. Canarias, Instituto Tecnológico de Canarias. 148p.
- JIMÉNEZ, S. 2011. Energía Renovable No Convencional: Políticas de Promoción en Chile y el Mundo. Santiago, Libertad y Desarrollo. 60p.
- KHALIGH, A. y ONAR, O. C. 2015. En: Rashid, M. H. (Ed). Alternative Energy in Power Electronics. Waltham, Butterworth-Heinemann. pp 81-154
- KUMAR, A., SINGH, P., RAIZADA, P., y MUSTANSAR, C. 2022. Impact of COVID-19 on greenhouse gases emissions: A critical review. Science of The Total Environment, 150349.
- LE GOUVERNEMENT DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG. 2021. Stratégie hydrogène du Luxembourg. Luxembourg, Le Gouvernement du Grand-Duché de Luxembourg. 32p.
- LERTSRIWONG, S. y GLINWONG, C. 2020. Newly-isolated hydrogen-producing bacteria and biohydrogen production by Bacillus coagulans MO11 and Clostridium beijerinckii CN on molasses and agricultural wastewater. International Journal of Hydrogen Energy 45(51):26812-26821.
- LÓPEZ, E., ISORNA, F., SILVA, M., ROSA, F. y GUERRA, J. 2015. Energy evaluation of a solar hydrogen storage facility: Comparison with other electrical energy storage technologies. International Journal of Hydrogen Energy 40(15):5518-5525.
- MARTINOT, E. y MCDOOM, O. 2000. Promoting Energy Efficiency and Renewable Energy: GEF Climate Change Projects and Impacts. Global Environment Facility. Washington, D.C., World Bank Group. 121p.
- MCKINSEY & COMPANY. 2020. Chilean Hydrogen Pathway: Final Report. Santiago, McKinsey & Company. 65p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA. 2015. Energía 2050: Política Energética de Chile. Santiago, Gobierno de Chile. 158p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA. 2019. Mapa de Vulnerabilidad Energética: síntesis metodológica y resultados. Santiago, Gobierno de Chile. 28p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA. 2020a. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde: Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones. Santiago, Gobierno de Chile. 33p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA. 2020b. Aspectos relevantes de los estudios regulatorios de hidrógeno. Santiago, Ministerio de Energía. 19p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA. 2020c. Estrategia Nacional Hidrógeno Verde (diapositivas de power point). Santiago, Ministerio de Energía. 25p.

- MINISTERIO DE ENERGÍA. 2020d. Estrategia de Flexibilidad para el Sistema Eléctrico Nacional: el camino hacia un sistema eléctrico sostenible. Santiago: Gobierno de Chile. 58p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA. 2022a. Estrategia Nacional de Electromovilidad. Santiago: Gobierno de Chile. 126p.
- MINISTERIO DE ENERGÍA. 2022b. Estrategia de Instrumentos Económicos para la Transición Energética. Santiago, Gobierno de Chile. 29p.
- MINISTERIO DE HACIENDA. 2019. Acuerdo Verde. Santiago, Gobierno de Chile. 31p.
- MINISTERIO DE HACIENDA. 2021. Programa País de Chile para el Fondo Verde del Clima. Santiago, Gobierno de Chile. 56p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2014. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Santiago, Gobierno de Chile. 80p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2017. Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022. 2ª ed. Santiago, Gobierno de Chile. 254p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2018. Tercer informe bienal de actualización de Chile sobre Cambio Climático: 2018. Santiago, Gobierno de Chile, GEF y PNUD. 397p.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. 2019. Reuniones Ministeriales COP25. En: COP25 CHILE-MADRID 2019: 02 al 13 de diciembre 2019. Madrid, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 6p.
- MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO. 2020. Strategia Nazionale Idrogeno: Linee guida preliminar. Roma, Ministero dello sviluppo economico. 21p.
- MINISTERSTWO KLIMATU I ŚRODOWISKA. 2021. Polska Strategia Wodorowa do Roku 2030. Varsovia, Ministerstwo Klimatu i Środowiska. 50p.
- MINISTRY OF ECONOMY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT. 2022. Hydrogen Strategy of the Republic of Croatia until 2050. Zagreb, Ministry of Economy and sustainable development. 41p.
- MINISTRY OF INDUSTRY AND TRADE. 2021. The Czech Republic's Hydrogen Strategy. Praga, Ministry of Industry and Trade of the Czech Republic. 184p.
- MINISTRY OF MINES OF ENERGY NAMIBIA. 2021. Namibia. Green Hydrogen and Derivatives Strategy. Windhoek, Republic of Namibia. 52p.
- MINISTRY OF TRADE AND INDUSTRY SINGAPORE. 2022. Singapore's National Hydrogen Strategy. Singapore, Ministry of Trade and Industry Singapore. 59p.
- MORON, V. 2013. Greenhouse Gases and Climatic Change. En: Saulnier, J. y Varella M. (Eds.). Global Change, Energy Issues and Regulation Policies. Dordrecht, Springer. pp. 31-46.
- NACIONES UNIDAS. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Nueva York, Naciones Unidas. 27p.

NACIONES UNIDAS. 1997. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Kyoto, Naciones Unidas. 25p.

NACIONES UNIDAS. 2012. Enmienda de Doha al Protocolo de Kyoto. Doha, Naciones Unidas. 6p.

NACIONES UNIDAS. 2015. Acuerdo de París. París, Naciones Unidas. 18p.

NASIROV, S., SILVA, C. y AGOSTINI, C. 2015. Investors' Perspectives on Barriers to the Deployment of Renewable Energy Sources in Chile. *Energies* 8(5):3794-3814.

NORWEGIAN GOVERNMENT. 2020. The Norwegian Government's hydrogen strategy: towards a low emission society. Oslo, Norwegian Ministry of Petroleum and Energy and Norwegian Ministry of Climate and Environment. 56p.

OFFICE OF FOSSIL ENERGY. 2020. Hydrogen Strategy - Enabling a Low-Carbon Economy. Washington, D. C., United States Department of Energy. 24p.

PREWITZ, M., BARDENHAGEN, A. y BECK, R. 2020. Hydrogen as the fuel of the future in aircrafts - Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy* 45(46):25378-25385.

REPÚBLICA PORTUGUESA. 2020. EN-H2: Estratégias Nacional para o Hidrogénio - DRAFT publicação. Lisboa, República Portuguesa. 97p.

SEA. 2021a. Ficha del Proyecto: Proyecto Piloto de Descarbonización y Producción de Combustibles Carbono Neutral. [en línea] <https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2149071179> [consulta: 09 de abril 2021].

SEA. 2021b. Ficha del Proyecto: HyEx - Producción de Hidrógeno Verde. [en línea] <https://seia.sea.gob.cl/expediente/ficha/fichaPrincipal.php?modo=normal&id_expediente=2152970568> [consulta: 09 de abril 2021].

SEC. 2021. Guía de Apoyo para Solicitud de Autorización de Proyectos Especiales de Hidrógeno. Santiago, Ministerio de Energía. 23p.

SEC. 2022. Proyectos Autorizados. [en línea] <<https://www.sec.cl/ingreso-proyectos-de-hidrogeno-verde/#1620245449692-78b21a16-f0ec>> [consulta: 22 de diciembre 2022]

SHAFIEI, E., DAVIDSDOTTIR, B., LEAVER, J., STEFANSSON, H. y ASGEIRSSON, E. I. 2017. Energy, economic, and mitigation cost implications of transition toward a carbon-neutral transport sector: A simulation-based comparison between hydrogen and electricity. *Journal of Cleaner Production* 141:237–247.

SINAY, J., JESNÝ, M., WEITERSCHÜTZ, J., BLAŠKOVITŠ, P. y SULÍK, R. 2021. Národná vodíková stratégia „Pripravení na budúcnosť“. Bratislava, Ministerstvo hospodárstva Slovenskej republiky. 20p.

STUBING, B., PAREDES, M., MUÑOZ, N. y ELZO, I. 2021. Conflictos por el agua en Chile: propuestas para un modelo de diálogo desde los territorios. Santiago, Centro de Políticas Públicas UC, Embajada de Suiza en Chile. 73p.

TEMPER, L., DEL BENE, D. y MARTÍNEZ-AL, J. 2022. Atlas de la justicia ambiental. [en línea] <from <https://ejatlas.org/country?translate=es>> [consulta: 13 de enero 2022].

THE MINISTERIAL COUNCIL ON RENEWABLE ENERGY, HYDROGEN AND RELATED. 2017. Basic Hydrogen Strategy. Tokio, Ministry of Economy, Trade and Industry. 37p.

UNIDO. 2021. Industrial Development Report 2022. The Future of Industrialization in a Post-Pandemic World. Vienna, UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION. 44p.

VÁSQUEZ, R., SALINAS, F. y GIZ. 2019. Tecnologías del Hidrógeno y Perspectivas para Chile. 2ª ed. Santiago, GIZ. 135p.

WELLS, S. A., SARTBAEVA, A., KUZNETSOV, V. L. y EDWARDS, P. P. 2011. Hydrogen Economy. Encyclopedia of Inorganic and Bioinorganic Chemistry. pp. 1-24.

WINTER, C. J. 2009. Hydrogen energy - Abundant, efficient, clean: A debate over the energy-system-of-change. International Journal of Hydrogen Energy 34:S1-S52.

WORLD ENERGY COUNCIL. 2019. Innovation Insights Brief 2019: New Hydrogen Economy - Hope or Hype? London, World Energy Council 2019. 42p.

10. ANEXOS

Anexo 1: Barreras para el desarrollo de la industria del H₂v. Se identificó con una “x” la presencia de cada barrera en el documento oficial de cada país y, a través de una sumatoria de dichas “x”, se obtuvo el puntaje para cada barrera en la columna morada. Todas aquellas barreras con pje. mayor o igual que 12 fueron catalogadas como de “importancia mayor” (morado oscuro) y aquellas con pje. Menor o igual a 6, como de “importancia menor (morado claro).”

	País	Alemania	Australia	Austria	Bélgica	Canadá	Com. Europea	Croacia	Dinamarca	Eslovaquia	Estados Unidos	Francia	Hungría	Italia	Japón	Luxemburgo	Namibia	Noruega	Países Bajos	Polonia	Portugal	Reino Unido	República	Singapur	SUMAT.	Chile
		I	E	I	I	E	-	E	I	I	E	-	-	I	I	I	E	E	I	-	E	E	I	I	-	Ex
Barreras económicas y Financieras	Elevado costo de producción de H ₂ v	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	22	x
	Elevado costo de suministro del H ₂ v	x	x	x		x	x		x		x			x	x		x	x			x	x	x	x	15	
	Elevado costo de almacenaje del H ₂ v		x			x	x				x				x			x	x		x	x	x	x	11	
	Elevado costo de uso del H ₂ v		x			x	x				x				x			x	x		x	x	x	x	11	x
	Falta de beneficios económicos para inversionistas			x	x				x		x	x		x	x				x		x				9	
	Falta de beneficios económicos para consumidores		x	x	x	x		x	x		x		x		x		x	x	x		x	x	x	x	16	x
	Industria del H ₂ v no competitiva	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x		20	x
	No desarrollar una economía de escala del H ₂	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	20	x

Ausencia de apoyo económico nacional a los proyectos de H ₂ v	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	23	x
No atraer inversión extranjera	x	x			x	x		x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			16	x
No adoptar tecnologías que permitan reducir los costos de H ₂ v	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x		x	x	x			19	x
Incremento en el precio del gas durante la transición al uso de H ₂ v		x											x							x				3	
Falta de monitoreo del impacto del H ₂ v en los costos de la energía		x																						1	
Elevado costo de las energías renovables	x	x	x		x	x		x		x			x	x			x	x	x	x	x			14	x
No incentivar la inversión en vehículos propulsados por H ₂ v	x	x	x		x	x	x				x	x	x	x			x	x	x	x	x	x		16	
Elevados costos de las estaciones de repostaje de H ₂ v					x	x	x							x										4	
Elevado costo de los vehículos de H ₂ v	x	x			x								x	x			x			x		x		8	
No fomentar asociaciones público-privadas en la industria del H ₂ v	x	x			x	x		x		x	x			x	x	x	x	x		x	x	x	x	16	x
Ausencia de colaboraciones intersectoriales en la industria del H ₂ v	x	x		x	x	x	x	x				x	x	x	x	x			x	x			x	15	x
Ausencia de acuerdos y colaboraciones internacionales	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	22	x
Impedir la expansión de la industria de H ₂ v	x	x			x	x		x			x	x	x	x				x		x	x			12	x
No fomentar la fabricación de celdas de combustible	x		x		x					x			x	x			x					x	x	9	
No fomentar la inversión en electrolizadores	x		x		x	x	x		x			x	x				x	x		x				11	x
No fomentar los productos finales con sello verde	x	x			x	x	x	x		x	x				x	x	x	x		x	x			14	x
No garantizar la exportación de tecnologías	x	x	x		x		x	x	x			x		x	x		x	x	x	x	x	x		16	
No incentivar la generación de trabajos verdes	x	x			x	x	x	x	x	x			x	x		x			x	x	x			16	x

Barreras Institucionales y Regulatorias	Ausencia de revisión periódica de las políticas de H ₂ v	x	x			x						x		x		x	x	x	x	x	x	x	13	x			
	Planificación de los proyectos de H ₂ no coordinada a nivel nacional	x	x	x	x	x					x			x	x		x			x			x	12	x		
	No priorizar la aprobación de proyectos de H ₂		x	x		x	x		x		x			x						x				9	x		
	Ausencia de regulación nacional sobre H ₂ v	x	x	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	20	x		
	Ausencia de regulación internacional sobre H ₂ v	x	x	x	x		x						x		x	x	x	x	x				x	x	13		
	Ausencia de regulación nacional adaptada a cada estado o jurisdicción, sobre H ₂ v	x	x			x								x	x				x					6	x		
	No regular la expansión de la cadena de suministro del H ₂ v	x				x	x	x	x					x	x				x	x				9			
	No formar parte de los países que fijan los estándares en la industria del H ₂ v	x	x			x	x				x				x	x			x	x			x	x	11		
	No trabajar con los mismos estándares y certificaciones internacionales de H ₂ v	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x		x	x	x	x	x			x	x	x	x	19	x
	Regulaciones sobre el H ₂ v demasiado estrictas, ambiguas o innecesarias		x									x							x						4		
	No contar con políticas que incentiven la producción de H ₂ v	x	x	x		x	x	x			x	x		x	x	x			x	x	x	x	x		16	x	
	No contar con políticas que incentiven la demanda de H ₂ v	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x		19	x	
	Altos impuestos para el H ₂ v	x	x	x	x						x								x			x	x		8		
	Políticas que no generen certeza jurídica para los inversionistas en H ₂ v		x			x				x	x												x	x	6	x	
	Falta de evaluación de la factibilidad de los proyectos que involucren H ₂ v		x			x	x							x					x						6		
	Falta de regulación al precio del carbono	x		x		x	x							x					x			x	x	x	11	x	
Falta de regulación sobre la reconversión de redes de gas para transporte de H ₂ v	x	x	x			x								x	x									10	x		
Falta de regulación para el acceso universal a la infraestructura del H ₂ v		x			x													x	x					7			

	No fomentar la producción de combustibles sintéticos basados en H ₂ v	x		x		x	x		x		x						x	x	x	x	x	x		x	13	x
	No poseer una industria H ₂ v certificada (certificado de origen)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x			20	x
	No fomentar una producción descentralizada de H ₂			x			x	x						x				x						x	8	
	No agrupar la producción y demanda de H ₂ v a escala local		x			x	x	x				x	x	x	x				x	x	x	x			12	x
	Obstáculos al flujo de gas transfronterizo de H ₂ v	x		x	x	x	x			x				x				x	x		x			x	12	
	Incorporación del H ₂ v en aquellas áreas de difícil descarbonización	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	20	x
	No regular el uso de hidrógeno en el transporte marítimo																								3	
	No establecer peaje rebajado para el transporte cero emisión	x																							2	
	No optimizar la generación eléctrica con la producción de H ₂		x				x	x																	7	
	No contar con una regulación de la energía eólica offshore	x																							1	
	No medir la huella de carbono en los procesos de producción de los proyectos	x																							3	x
	Barreras de Información y Conciencia Pública	No considerar participación de las comunidades o pueblos originarios en proyectos de H ₂ v		x																					7	x
Ausencia de colaboración entre Estado y otros actores (empresa, academia y sociedad civil)		x	x			x	x	x																15	x	
Visión ambigua de la importancia del H ₂ v en el futuro energético del país			x																					6		
No fomentar la aceptación social de H ₂ v		x	x																					12	x	
No educar a la población acerca de la industria del H ₂ v			x																					10	x	
No incentivar el intercambio de conocimientos relacionados al H ₂ v		x	x																					12	x	

Anexo 2: Encuesta enviada a expertos en formato Word.



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

MAGÍSTER EN GESTIÓN Y PLANIFICACIÓN AMBIENTAL

ENCUESTA

(Rellenar sólo los espacios marcados en color verde)

Esta encuesta se enmarca dentro del Proyecto de Grado titulado **“HIDRÓGENO VERDE: BARRERAS DE ENTRADA Y PROPUESTA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA SU PRODUCCIÓN EN CHILE”**, para optar al título de Magíster en Gestión y Planificación Ambiental de la Universidad de Chile. Sus resultados serán confidenciales y persiguen obtener su opinión respecto a las potenciales oportunidades que significaría el desarrollo del Hidrógeno verde en el país junto a las barreras que se oponen a dicho desarrollo. Cualquier consulta, favor realizarla al autor del Proyecto, Juan Osorio, al correo jaosorio.bqco@gmail.com.

Nombre	
Cargo	
Fecha	
Describa brevemente su experiencia en H ₂ verde o relacionados	

1. De las oportunidades señaladas a continuación, para impulsar el desarrollo de un mercado de Hidrógeno verde (H₂v) en Chile, con cuáles está usted muy en desacuerdo, medianamente de acuerdo o totalmente de acuerdo, donde “1” significa *muy en desacuerdo*, “2” *medianamente de acuerdo* y “3” *muy de acuerdo*. Si considera que existe otra u otras oportunidades, por favor indíquelas:

OPORTUNIDAD	PUNTAJE
Descentralización: A corto plazo, las plantas de H ₂ v generarán polos de desarrollo local.	
Medioambiente: El H ₂ v facilitaría que el país alcance sus metas de descarbonización propuestas en el Acuerdo de París.	
Economía: Chile podría llegar a producir el H ₂ v más económico del mundo al 2030.	
Economía: A largo plazo, la exportación de H ₂ v y sus derivados podría igualar en tamaño a la industria minera del país.	
Sociedad: El uso de H ₂ v en Chile significaría una mejor calidad de vida para las personas.	
Otras oportunidades:	

2. De las siguientes barreras identificadas para el desarrollo del Hidrógeno verde (H₂v) en Chile, señale en una escala de 1 a 3 qué tan importante sería su injerencia para impedir este desarrollo, en donde “1” es *nada importante*, “2” *medianamente importante* y “3” *muy importante*. Si considera que existe otra u otras barreras medianamente o muy importantes, por favor indíquelas:

BARRERA	PUNTAJE
No evaluar la incorporación del H ₂ v como combustible en el transporte terrestre, marítimo y aéreo.	
Ausencia de regulación nacional sobre H ₂ v	
Incorporación del H ₂ v en aquellas áreas de difícil descarbonización	
No trabajar con los mismos estándares y certificaciones internacionales de H ₂ v	
No fomentar la descarbonización industrial mediante el uso de H ₂ v	

Elevado costo de producción de H ₂ v	
Ausencia de apoyo económico nacional a los proyectos de H ₂ v	
No desarrollar una economía de escala del H ₂ v	
No financiar la I+D en el uso del H ₂ v	
Ausencia de acuerdos y colaboraciones internacionales	
No fomentar la construcción de estaciones de repostaje de H ₂ v (hidrolineras) en transporte	
Inseguridad a lo largo de la cadena de suministro de H ₂ v	
Falta de infraestructura segura para el transporte y distribución de H ₂ v	
Ausencia de carreras de formación relacionadas con el H ₂ v	
No incentivar la innovación tecnológica en la industria del H ₂ v	
Deterioro ambiental	
No fomentar la aceptación social de H ₂ v	
No considerar participación de las comunidades o pueblos originarios en proyectos de H ₂ v	
Uso de agua desde fuentes no sostenible para la producción de H ₂ v	
No fomentar el desarrollo responsable de la industria de H ₂ v	
Otras barreras:	

3. De las siguientes propuestas de sostenibilidad, señale en una escala de 1 a 3, donde “1” es *nada importante*, “2” *medianamente importante* y “3” es *muy importante*, su grado de importancia para la superación sostenible de las barreras que actúan impidiendo el desarrollo del Hidrógeno verde (H₂v) en Chile.

PROPUESTAS	PUNTAJE
<p>Crear regulaciones para el H₂v. Regulaciones que garanticen la certeza jurídica a los inversores.</p>	
<p>Financiamiento verde. Entidades públicas y privadas que prioricen el financiamiento de proyectos “verdes”.</p>	
<p>Financiamiento a proyectos pilotos de H₂v. Para disminuir la incertidumbre de los titulares con respecto a invertir en proyectos de gran escala</p>	
<p>Priorizar la producción de H₂v desde fuentes solares y eólicas. Se ha propuesto que estas fuentes tienen los mejores rendimientos de producción, considerando factores económicos, sociales, ambientales, técnicos y de sostenibilidad (ACAR Y DINCER, 2019)</p>	
<p>Fomentar la industria verde. Descarbonizar distintos procesos industriales utilizando H₂v como combustible (reemplazando los combustibles fósiles) o como materia prima para producir productos finales con sello verde.</p>	
<p>Garantía de Origen y Certificaciones sostenibles para el H₂v Con esto se busca garantizar el origen sostenible del H₂v.</p>	
<p>Impuesto al carbono. Busca desincentivar el uso de combustibles fósiles al mismo tiempo de dar mayor competitividad al H₂v.</p>	
<p>Protección y conservación de la biodiversidad y los hábitats. Busca que los proyectos de producción de H₂v se ubiquen en zonas con el menor impacto sobre los hábitats y la biodiversidad.</p>	
<p>Conservación de los suelos. Busca que los proyectos de producción de H₂v minimicen su afectación sobre los suelos.</p>	
<p>Protección ambiental. Busca que la afectación medioambiental de los proyectos de producción de H₂v se minimice de manera global y no sólo local.</p>	
<p>Uso sostenible del agua. Busca optimizar el uso del agua, tanto para las personas, medioambiente y la industria.</p>	

<p>Protección de la calidad del aire. Busca reducir la contaminación atmosférica de los proyectos de H₂v.</p>	
<p>Evaluación de Impacto Social. Es una herramienta que permite evaluar, planificar y gestionar el cambio social derivado del desarrollo de un proyecto, con el fin de minimizar la resistencia pública.</p>	
<p>Creación de Valor Compartido y Desarrollo Comunitario. Busca que los proyectos realicen un plan de desarrollo de infraestructura local en paralelo a la planificación del proyecto y en conjunto con la comunidad y autoridades.</p>	
<p>Desarrollo económico y creación de empleo locales. Busca la contratación de trabajadores de las localidades en que se emplazarán los proyectos y la compra de suministros dentro de la región.</p>	
<p>Eficiencia y mejora del acceso a la energía. Busca que el H₂v generado pueda ser transportado a lugares poblados sin electricidad y dotarlas de energía.</p>	
<p>Educación y capacitación local. Busca capacitar a las comunidades que serán intervenidas por el proyecto de H₂v.</p>	
<p>Derechos de comunidades indígenas. Busca reconocer los derechos de los pueblos originarios y evitar judicializaciones de los proyectos.</p>	
<p>Salud y seguridad. Busca resguardar la salud de las personas y al medioambiente.</p>	
<p>Exigencia de Estudios de Impacto Ambiental (EIA). Para encontrar todos los impactos negativos de los proyectos de H₂v, es fundamental que obligatoriamente ingresen al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental mediante un EIA.</p>	
<p>Acceso a la información. Concientizar a la población nacional acerca de las ventajas del H₂v.</p>	
<p>Fomentar el transporte nacional cero emisiones. Buscando descarbonizar el sector transporte fomentando la electromovilidad.</p>	
<p>Si usted reconoce otra(s) medida(s) sostenible(s) de importancia, por favor indíquela(s):</p>	

¡¡Gracias por sus respuestas!!