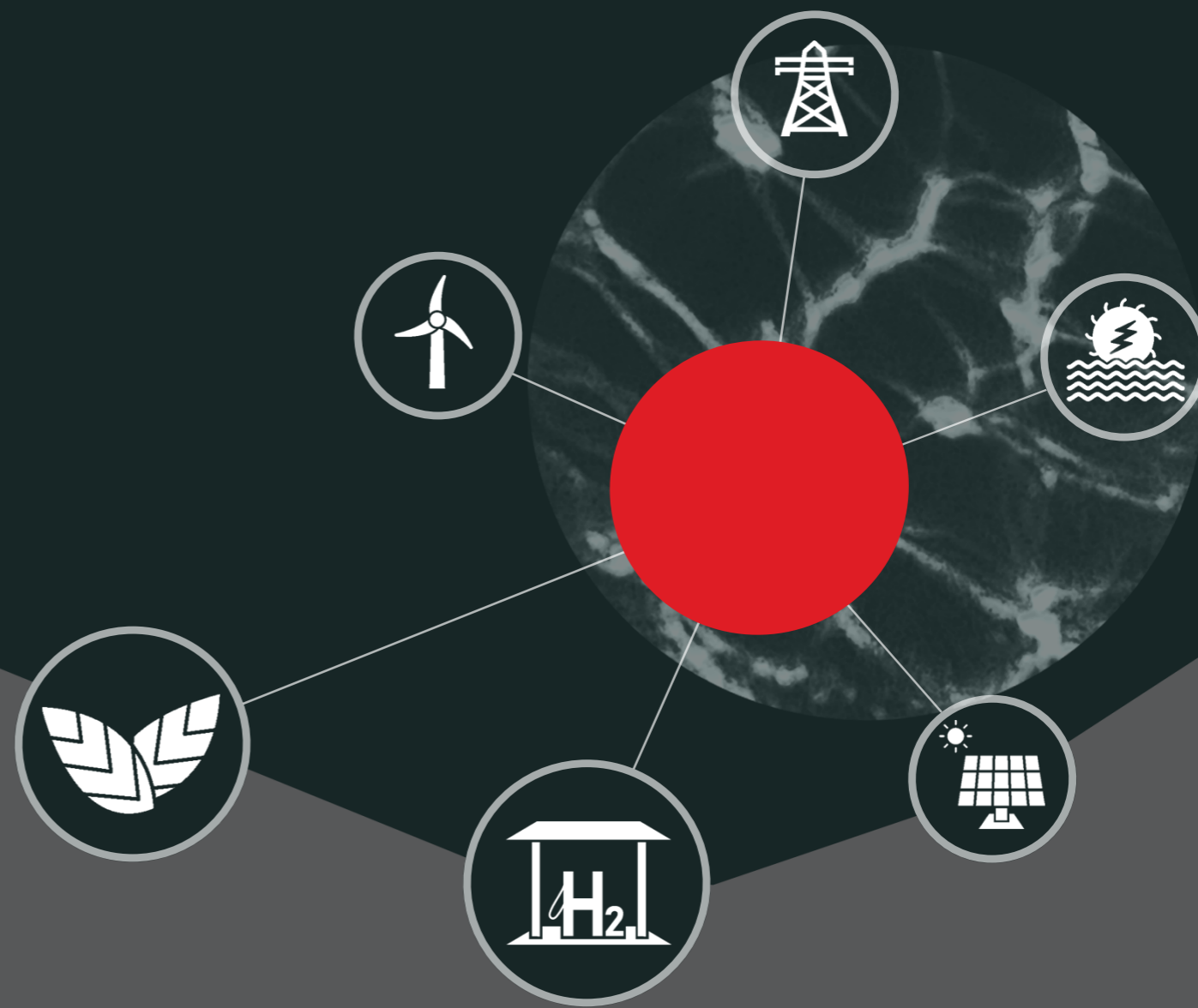


H2V Iniciativa Hidrógeno Verde

COMISIÓN DESAFÍOS DEL FUTURO,
CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Y COMISIÓN DE MINERÍA Y ENERGÍA
DEL SENADO DE LA REPÚBLICA



Prólogo

El mundo enfrenta una tormenta perfecta a raíz de la crisis climática y ecológica -con pandemias incluidas- provocada, principalmente, por el modelo de crecimiento basado en la extracción irracional de recursos naturales y el consumo de combustibles fósiles.

Al mismo tiempo el acelerado desarrollo de las tecnologías y de la inteligencia artificial plantea interrogantes vitales sobre si estamos ante un amenaza, por ejemplo, a nuestro libre albedrío o ante una oportunidad liberadora que nos ayude a reducir las inequidades.

Sin embargo, esa misma tecnología nos abre el camino que nos permite abandonar el uso del petróleo y sus derivados y transitar hacia el empleo de las energías limpias, donde el hidrógeno verde se alza

como el gran aliado para alcanzar un mundo libre de energías fósiles.

Por su posición geográfica y condición geopolítica Chile tiene todas las condiciones para ser líder mundial en la producción de hidrógeno verde por medio de la energía solar en el norte y eólica en el sur.

Frente a ello las comisiones Desafíos del Futuro y de Minería y Energía del Senado convocaron a más de cincuenta expertos, científicos y académicos para elaborar propuestas técnicas, así como legislativas, que ayuden a viabilizar el camino al desarrollo del hidrógeno verde, den certezas a los potenciales interesados en su desarrollo y sean parte de una política de Estado de mediano y largo plazo para que Chile se convierta en un actor importante de la Economía del Hidrógeno.

Prólogo

Este documento reúne los debates y acuerdos alcanzados tras cuatro intensos meses de labor y pretende ser un importante aporte y herramienta que ayude a recorrer la senda hacia un mundo más limpio y seguro para toda la humanidad.

Chile contiene a lo largo de su territorio una serie de potenciales naturales, en tierra como en el océano, que le van a permitir dar importantes saltos cualitativos para alcanzar mejores niveles de equidad y desarrollo de las personas, pero ello requiere la colaboración de todas y todos tras una estrategia consensuada de largo plazo.

Es con ese objetivo que hemos dado este primer paso pues estamos convencidos que si Chile apuesta por ser una potencia en hidrógeno verde -porque tiene todas las condiciones para serlo- daremos un paso agigantado hacia una mejor sociedad para todas y todos.

Senador Guido Girardi

Presidente de la Comisión Desafíos del Futuro,
Ciencia, Tecnología e Innovación

Senador Rafael Prohens

Presidente de la Comisión
de Minería y Energía

Índice

01	Presentación	1
02	Energía renovable para el desarrollo	4
03	Estrategia nacional de hidrógeno verde	10
04	Propuestas recogidas por la Iniciativa	14
05	Propuestas legislativas y regulatorias	32
06	Agradecimientos	37



01 Presentación

La discusión sobre el futuro de Chile debe considerar los esfuerzos que se están realizando a nivel país para lograr la ansiada transición energética y que tienen como fin buscar alternativas no contaminantes para mejorar el bienestar de los y las habitantes del territorio nacional.

Por esta razón, las Comisiones Desafíos del Futuro, Ciencia, Tecnología e Innovación y de Minería y Energía del Senado de la República convocaron a una sesión ordinaria el miércoles 1ero de julio de 2020 para constituir un grupo transversal de expertas y expertos que colabore en la elaboración de una mesa técnica ampliada para impulsar el desarrollo de la tecnología y de una economía de hidrógeno verde en Chile.

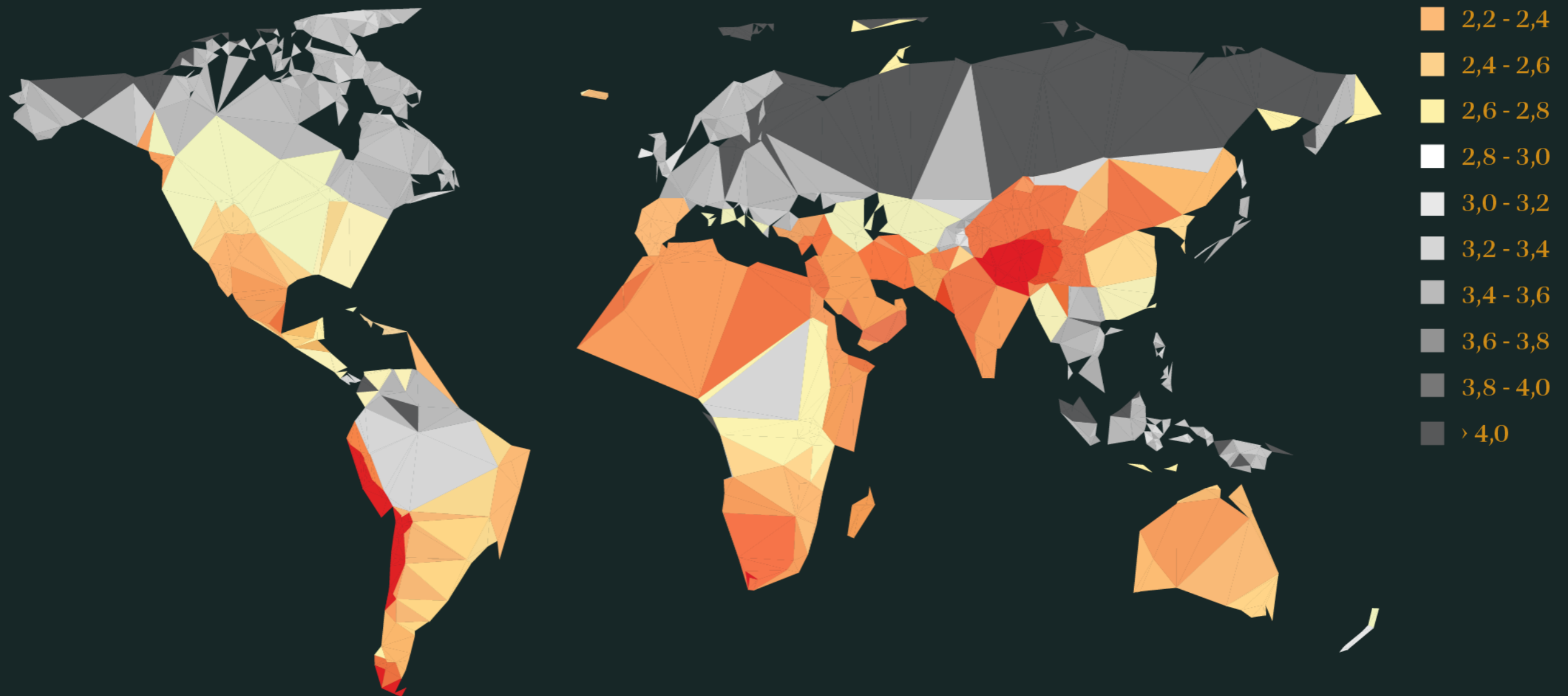
Objetivo principal de esta iniciativa es abrir la conversación con respecto al hidrógeno verde entre expertos y legisladores para proponer iniciativas concretas para la generación de políticas públicas que apunten al desarrollo de una economía del hidrógeno verde en Chile con el fin de aprovechar al máximo las oportunidades que ofrece para el país y el mundo.

Imagen:
Burbújas de hidrógeno

El hidrógeno es el petróleo del Siglo XXI y Chile tiene el potencial de proveer a todo el mundo con esta energía limpia.

"Hydrogen Bubbles", Foto: Paul's Lab,
Licencia: CC BY-NC-SA 2.0

Costo de Producción de Hidrógeno en el Mundo



(Fuente: IEA, The Future of Hydrogen, 2019).

Mapa del costo estimado de producción de H2 verde en el largo plazo



(Fuente: IEA, The Future of Hydrogen, 2019).



Imagen:
Hidrógeno como vector energético

La tecnología del hidrógeno como vector energético, ya sea como combustible o para la generación eléctrica, permite abandonar el uso de combustibles fósiles.

"Toyota MIRAI and Hydrogen Fueling Station", Foto: Dakiny, Licencia: CC BY-NC-ND 2.0

02 Energía renovable para el desarrollo

2.1 El Hidrógeno como vector energético

El hidrógeno es, indudablemente, un elemento con la capacidad de transformar el mundo tal y como lo conocemos. En medio de una transición energética aún incipiente, el uso como vector energético impactaría en la industria de los combustibles fósiles y por consiguiente en las emisiones de CO₂ y de otros contaminantes climáticos de vida corta, revolucionaría el uso de las energías renovables y reduciría emisiones en sectores clave como la carga, el transporte y la minería.

Adicionalmente, podría posicionar a Chile como un país con ventajas competitivas clave a la hora de producir y exportar hidrógeno verde, aportando significativamente a la marca país de "sostenibilidad", especialmente por su impacto en la minería verde.

La producción de hidrógeno verde se puede dar a partir de diversas fuentes energéticas y su almacenaje no debería representar un problema dado el nivel de desarrollo actual de la industria. Debe ponerse énfasis en el aprendizaje de experiencias comparadas y en el contexto nacional, de largas distancias, con caminos que podrían permitir abandonar el lock-in de los combustibles fósiles para el transporte, en las posibilidades que éste vector brinda para el eco-turismo, para la acuicultura, la industria salmonera, entre varias otras. La innovación en celdas combustibles permite a estas alturas la provisión de energía útil eficiente y libre de emisiones contaminantes para flotas de buses y camiones eléctricos.





Imagen:
Generación de energía solar fotovoltaica en el desierto

Los desiertos, en particular el desierto de Atacama, ofrecen condiciones muy favorables para la generación de energía solar con paneles fotovoltaicos, debido a los escasos días nublados durante el año.

"Renewable Energy Development in the California Desert", Foto: mypubliclands, Licencia CC BY 2.0

VOLVER A ÍNDICE

02 Energía renovable para el desarrollo

2.2 El Hidrógeno verde

A pesar de ser el elemento más abundante en el planeta, la producción de hidrógeno verde implica una variedad de procesos, por lo mismo se le ha catalogado con distintos "colores" como gris y azul.

En particular, el hidrógeno denominado verde se produce desde fuentes renovables como la energía solar, hidráulica o la eólica, las cuales ya cuentan con un desarrollo importante en Chile y con un altísimo potencial a futuro.

Sin ir más lejos, documentos como el informe del Grupo de Expertos en Administración de Recursos de la UNECE, específicamente en su sub-grupo de Energía Solar, ha destacado en sus especificaciones el caso chileno, destacando la altísima radiación que posee el Desierto de Atacama y el gran potencial exportador de dicha fuente energética, lo cual tiene directa incidencia en una producción altamente eficaz de hidrógeno verde a futuro.





02 Energía renovable para el desarrollo

2.3 Una economía a base de hidrógeno

Los usos actuales del hidrógeno se dan principalmente en refinerías y en industrias como la química y aeroespacial.

Habiéndose creado ya una cadena de valor industrial para el hidrógeno, la regulación sobre este vector energético está en un momento clave para pasar a otras aplicaciones, como los camiones de carga en la minería, el transporte público, los trenes de carga, y la agricultura.

Para el cumplimiento de lo anterior, resulta esencial la formación de capital humano en la materia, y es ahí en donde deben radicarse esfuerzos importantes tanto del sector público como de potenciales alianzas para los privados, que permitan establecer proyectos piloto en distintas áreas para ir ganando en conocimientos y adoptando nuevas buenas prácticas.

Imagen:
Chile, un hotspot para la energía renovable

Chile dispone de excelentes condiciones para la generación de energías renovables, tanto para la energía eólica en el extremo sur, como para la energía solar en el extremo norte del país.

"Renewable Energy Development in the California Desert", Foto: mypubliclands, Licencia: CC BY 2.0

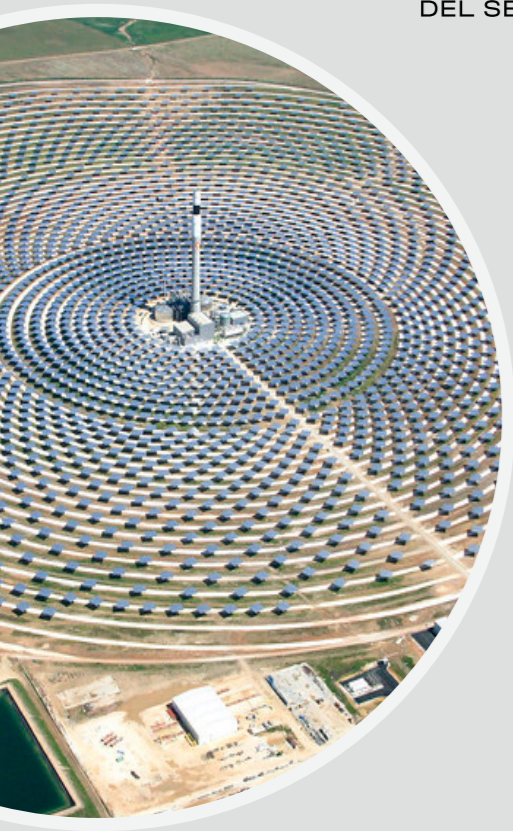


Imagen:
Planta de energía termosolar de concentración (CSP)

La planta Gemasolar de energía termosolar de concentración con sistema de almacenamiento térmico en sales fundidas, ubicada en la provincia de Sevilla, España.

"19.9 MW Gemasolar Concentrated Solar Power Plant, a joint venture between Masdar Power and Sener", Foto: Masdar Official, Licencia: CC BY-NC-SA 2.0



02 Energía renovable para el desarrollo

2.4 Chile, un hotspot para las energías renovables

Chile tiene uno de los mayores potenciales del mundo para la producción de energías renovables. Con una longitud de más de 4.200 km de norte a sur se encuentra entre el Océano Pacífico y los Andes.

Según el *Bloomberg New Energy Finance Climate Scope 2018*¹, Chile es el país más atractivo del mundo para invertir en energía limpia (de un total de 103 mercados emergentes). Tiene el potencial de producir entre 1.380 y 1.860 GW de energía renovable, incluyendo energía solar fotovoltaica, energía termosolar de concentración (CSP) y energía eólica.

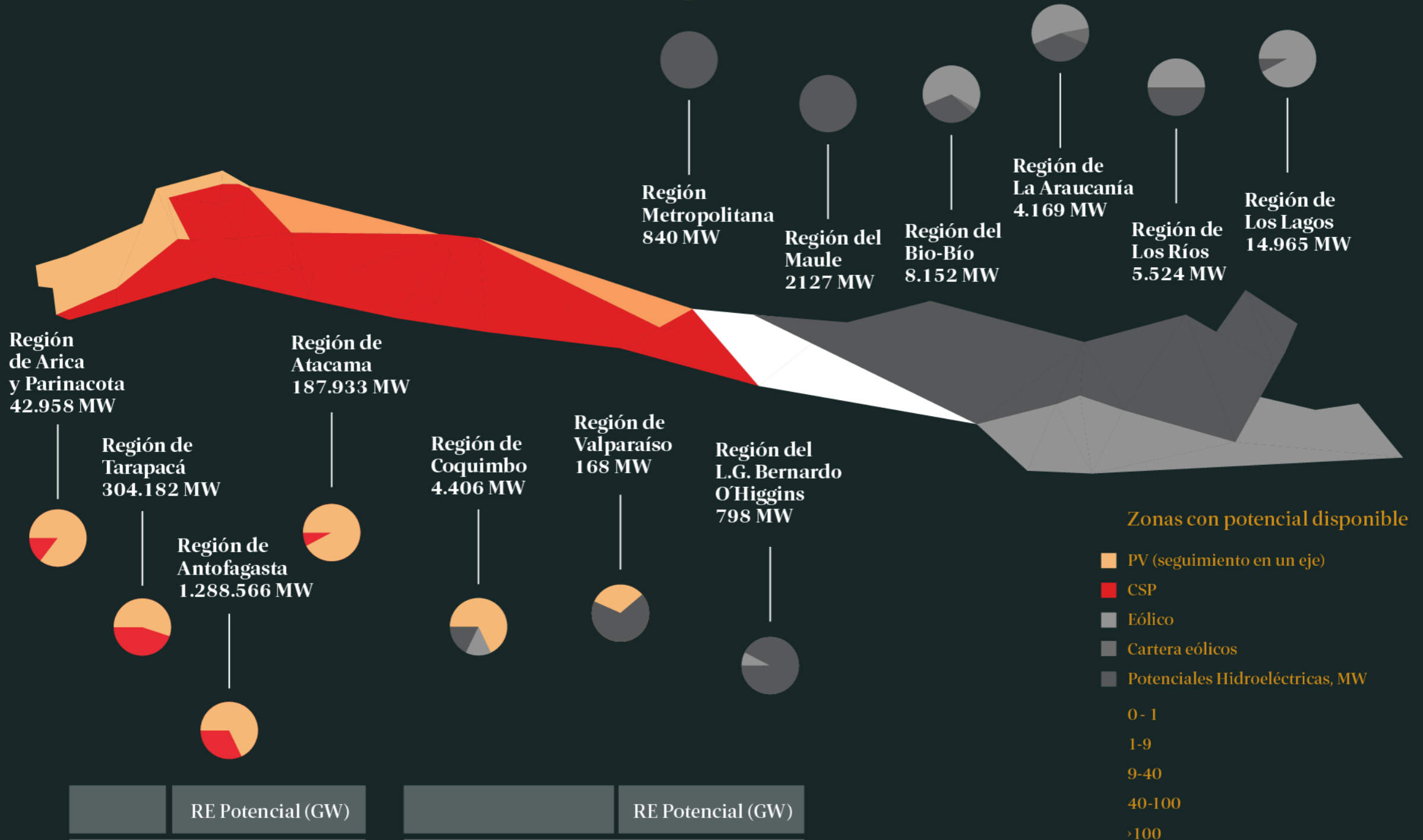
Esto corresponde a unas 70 veces la capacidad de energía eléctrica instalada actualmente.

Esto ha llevado al *World Energy Council Germany* a llamar a nuestro país el "campeón secreto" en su informe de 2018 "Aspectos internacionales de una hoja de ruta para la potenciación"².

² <https://global-climatescope.org/assets/data/reports/climatescope-2018-report-en.pdf>

¹ https://www.weltenergiemat.de/wp-content/uploads/2018/10/20181018_WEC_Germany_PTXroadmap_Full-study-englisch.pdf

Chile: Potencial de Energía Renovable



Región de Arica y Parinacota
42.958 MW

Región de Tarapacá
304.182 MW

Región de Antofagasta
1.288.566 MW

Región de Atacama
187.933 MW

Región de Coquimbo
4.406 MW

Región de Valparaíso
168 MW

Región del L.G. Bernardo O'Higgins
798 MW

Región Metropolitana
840 MW

Región del Maule
2127 MW

Región del Bio-Bío
8.152 MW

Región de La Araucanía
4.169 MW

Región de Los Ríos
5.524 MW

Región de Los Lagos
14.965 MW

	RE Potencial (GW)
Solar SCP	550
Solar PV	1260

En el viento de la orilla	12.4
Hydro	37.4
Total	1860

Autor: Dr. -Ing. Erwin Plett

75 veces la capacidad instalada

Fuente: GIZ

Reducción en costos y potencial en energías renovables permitirán que Chile sea uno de los productores de hidrógeno a menor costo

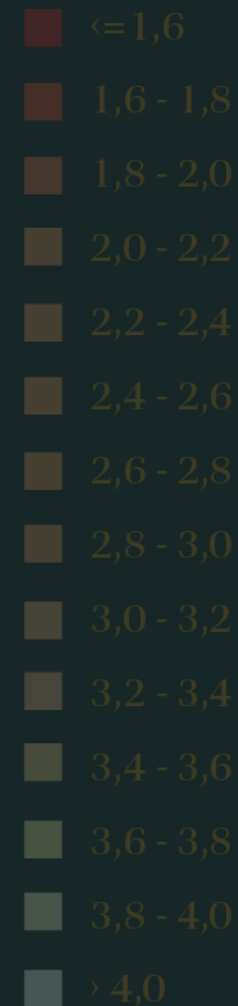
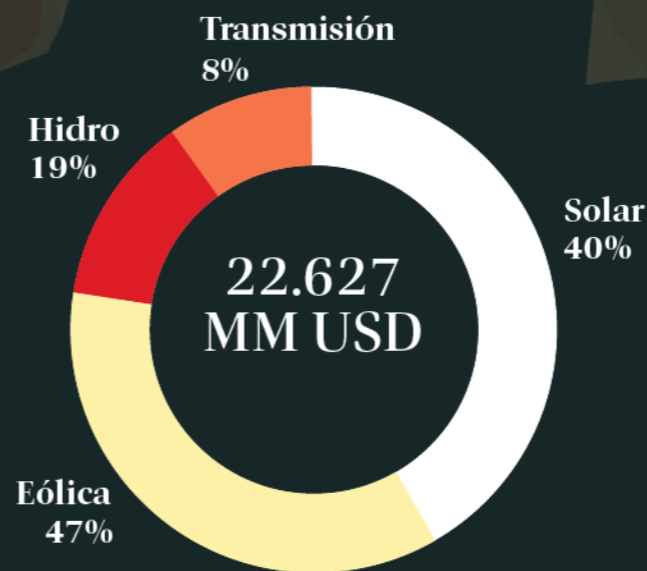
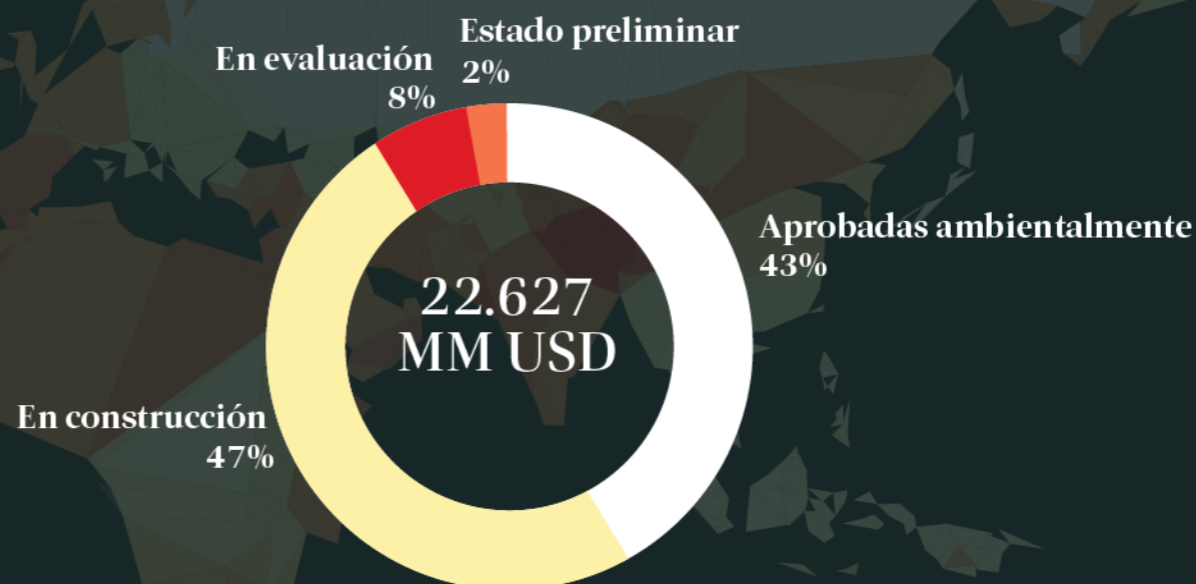
70 veces

Potencial renovable de Chile

V/S

Capacidad instalada de electricidad

Hay más de 20.000 MM USD de proyectos de inversión renovables





03 Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

La "Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde: Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones", diseñada por el Ministerio de Energía en noviembre de 2020 plasma al hidrógeno verde como una herramienta fundamental en la lucha en el contexto de crisis climática global, destacando su potencial de descarbonización en diferentes industrias, señalando que se espera la creación de 100,000 nuevos empleos en esta naciente industria, dado el aumento inmenso esperado en la demanda global de energía suministrada con hidrógeno como vector.

La creación de una industria local se ve como prioritario en la primera etapa de implementación de la Estrategia. Así, se privilegiará la regulación sobre 6 aplicaciones del hidrógeno verde en nuestro país: el uso en refinerías, producción de amoníaco doméstico, el uso en camiones mineros (CAEX) y en camiones pesados de ruta, inversiones en electromovilidad para buses de larga autonomía e inyección hasta en un 20% en redes de gas.



Imagen:
Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

*Chile, fuente energética para un planeta
cero emisiones*

Ministerio de Energía

COMISIÓN DESAFÍOS DEL FUTURO,
CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Y COMISIÓN DE MINERÍA Y ENERGÍA
DEL SENADO DE LA REPÚBLICA



03 Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

La ambición por lograr en un mediano plazo el hidrógeno verde más barato del planeta, inferior a 1,5USD/kg se espera realizar siguiendo un plan de acción en diversas áreas: estimulando los proyectos, la inversión y los pilotajes en el país, fomentando el mercado doméstico y la exportación para situar a Chile en el centro del mapa de distribución del hidrógeno verde a nivel mundial; se espera lanzar una ronda de financiamiento para apalancar proyectos, y desplegar una "diplomacia del hidrógeno verde" que dé cuenta de las ventajas competitivas del país para la producción de este vector energético.

Otros esfuerzos estarán vinculados a la formación e capital humanos, la regulación en materia de seguridad y un mayor desarrollo social y territorial.

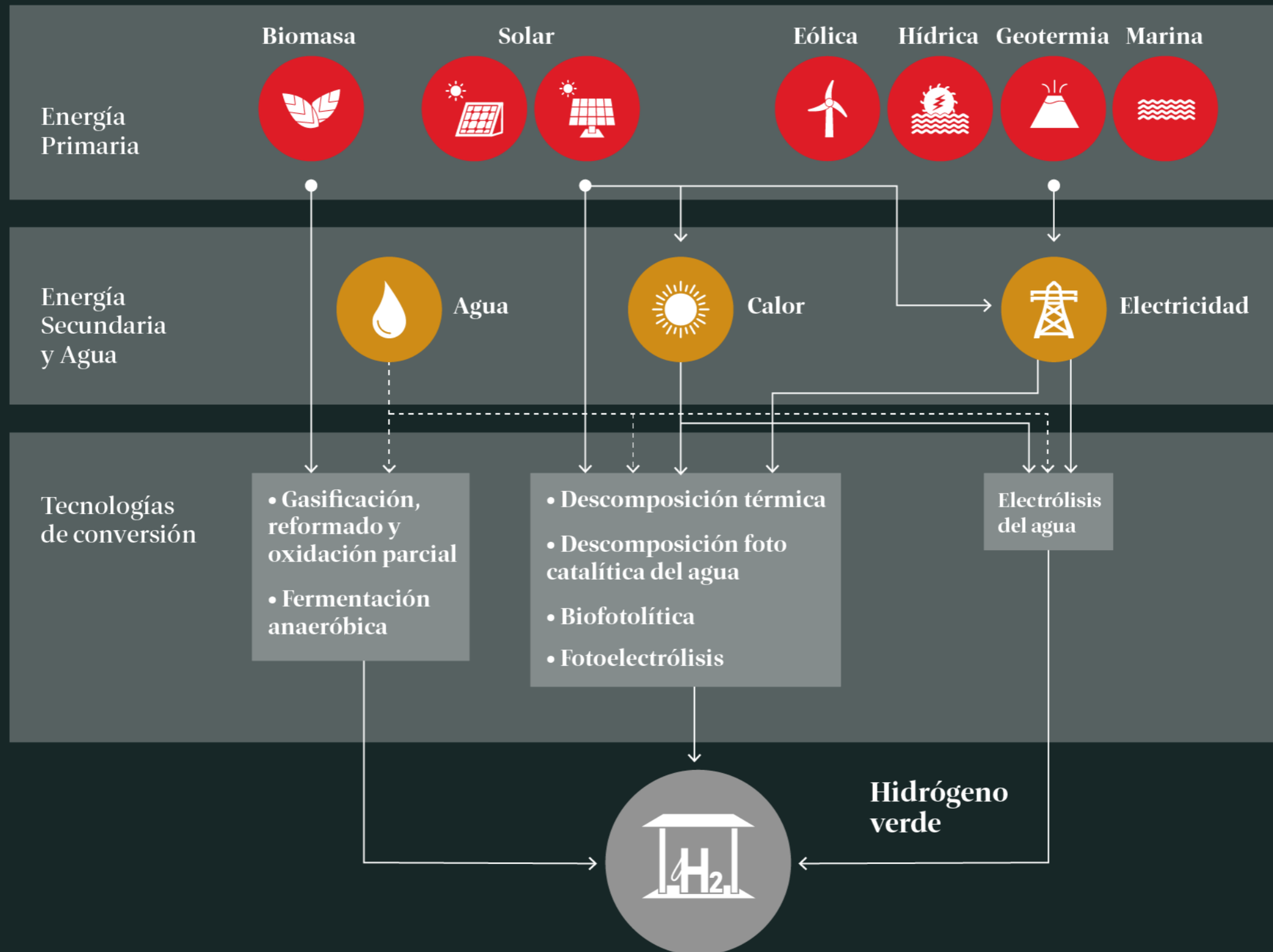


Imagen:
Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde

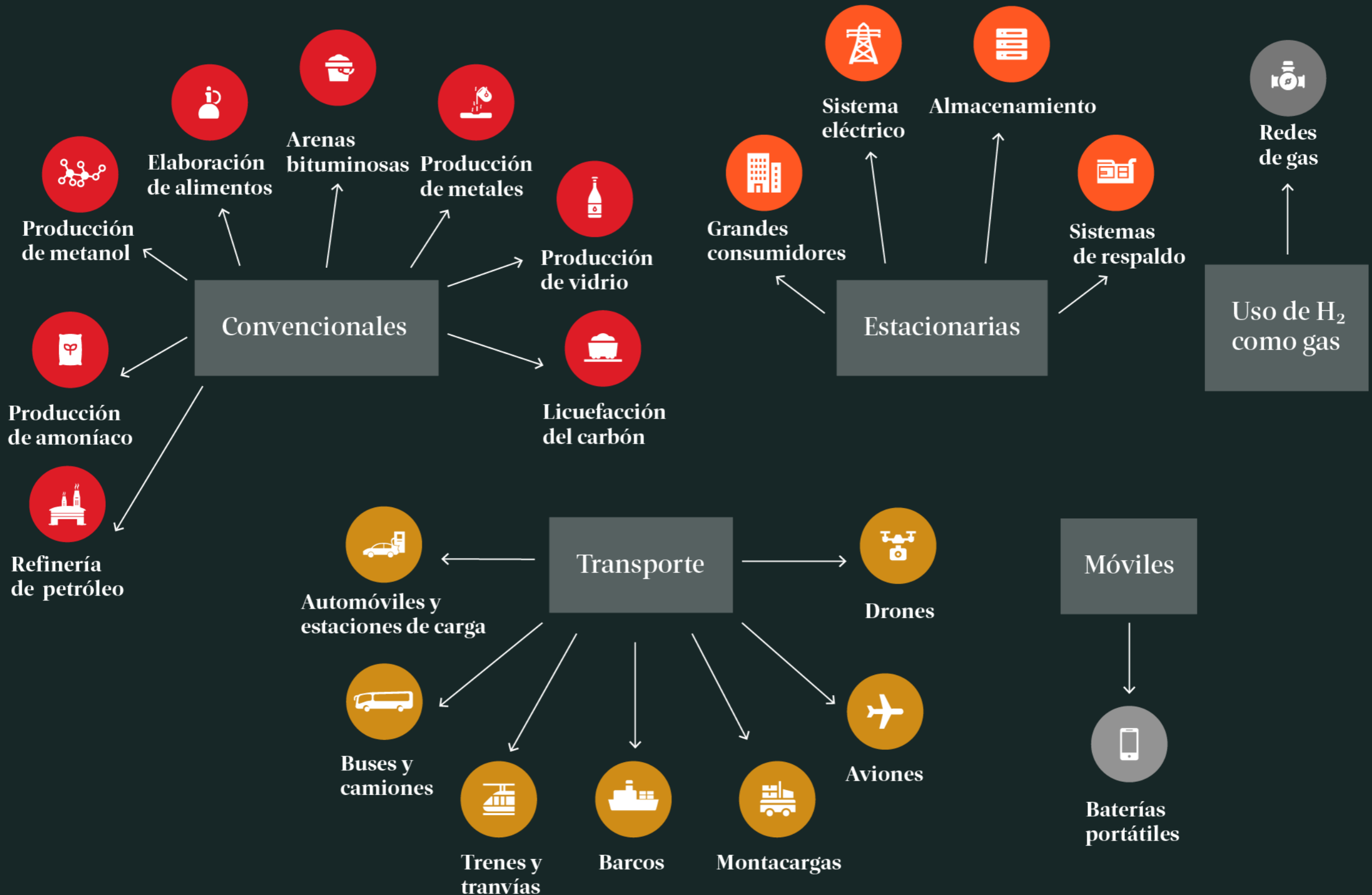
*Chile, fuente energética para un planeta
cero emisiones*

Ministerio de Energía

Rutas de producción de Hidrógeno verde



Aplicaciones del Hidrógeno





04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.1 Dotación de recursos para la investigación y el desarrollo (I+D)

Los recursos para I+D son un aspecto clave, específicamente en proyectos piloto, también para la formación de capital humano, porque el pilotaje puede formar capital humano en forma transversal: técnicos, profesionales y capital humano avanzado a nivel de post-grado. Con ello se lograría "dejar en Chile" el conocimiento respecto al montaje, mantenimiento y operación de vehículos. Los pilotajes de vehículos (buses, trenes, camiones de carga, mineros, interurbanos) podrían contribuir fuertemente a esta formación de profesionales del hidrógeno.

El pilotaje puede ser transversal, en cualquier vehículo que se pueda transformar a eléctrico. Los más simples podrían ser buses, luego trenes y barcos. En minería serían especialmente importantes los avances en vehículos de potencia media. La implementación en buses interurbanos permite el desarrollo de *know how*. La aplicación en trenes también es una excelente opción por las características geográficas del país. En el sector agrícola se pueden hacer desarrollos de plantas demostrativas, dando servicios complementarios que mejoren el valor de los productos que se están produciendo en la agroindustria, desde mejorar la tecnología para los tractores, hasta utilizando almacenamiento para las fuentes renovables de energía en el invierno.

Imagen:
Investigación y Desarrollo (I+D)

La implementación de una estrategia nacional de hidrógeno verde requiere de inversiones en investigación y desarrollo.

"Environmental scanning electron microscope 4", Foto: EMSL, Licencia: CC BY-NC-SA 2.0



Imagen:
**Buses con motores eléctricos
con celdas de hidrógeno**

El transporte público urbano e interurbano perfectamente puede ser convertido a motores eléctricos impulsados con celdas de hidrógeno y así operar sin emitir gases de efecto de invernadero.

"AC Transit hydrogen fuel cell bus",
Foto: Eric Fischer, Licencia: CC BY 2.0

04 Propuestas recogidas por la Iniciativa



4.2 Soluciones en electromovilidad

La mesa de trabajo propone que las soluciones de electromovilidad no sólo sean circunscritas a camiones mineros, sino que debemos abrir nichos con una mirada amplia: transporte público, sector acuícola, agroindustria, incluso botes para potenciar el eco-turismo. Chile tiene muchos ámbitos desarrollados para hacer pilotajes, desde la industria del salmón y acuícola.

Al momento de legislar, se debiese priorizar el transporte público y transporte de carga. Actualmente hay sobre 700 buses eléctricos, de acuerdo a cifras del Ministerio de Transportes a julio 2020, lo que permite crear un mercado. Hay que demostrar la ventaja de los buses con celdas de hidrógeno, así como buses con motores de

combustión interna dual (hidrógeno-diésel), como también en base a combustión 100% hidrógeno, para lo cual se requiere un pilotaje. Tal vez para las próximas licitaciones puede dejarse una cuota, 5% de los buses. Los buses interurbanos, por ejemplo, debido a las largas distancias, no podrían funcionar con baterías eléctricas, pero sí con celdas de hidrógeno como también con motores de combustión interna dual (hidrógeno-diésel), y combustión 100% hidrógeno.

Se propone incluir buses a hidrógeno en licitaciones: En las licitaciones de transporte público y de buses interurbanos debiese ser una política nacional considerar los buses a hidrógeno, al igual que para las empresas que podrían llamar a licitación.



Imagen:

Formación de Capital Humano

Sin el desarrollo de capital humano avanzado no será posible avanzar en una estrategia nacional de hidrógeno verde.

"Coaching session at the R&D Accelerator", Foto: Nestlé, Licencia: CC BY-NC-ND 2.0

04 Propuestas recogidas por la Iniciativa



4.3 Formación de Capital Humano

Para la formación de capital humano se debe considerar los cursos de asociaciones y organizaciones civiles, de profesionales, de CWEEL Chile (asociación de personas naturales), del Centro de Energía de la Universidad de Chile, de la Universidad de los Andes, entre otras. Hay varias "capas de acción" que se creen relevantes para incluir. Se puede recurrir a otras capas de acción que no sean necesariamente las asociaciones académicas. Estas vienen a acelerar el diseño y construcción de programas como diplomados en tecnologías de hidrógeno verde, que cualquier persona interesada se pueda especializar en la materia.

En cuanto al capital humano avanzado, se sugiere una articulación entre investigación y el acceso a becas. Para lograr

reconocer las brechas, por ejemplo en la educación escolar debería primero haber un diagnóstico. Este debe tener criterios claros de cuantificación, lo cual actualmente se desconoce si existe. También es importante realizar un levantamiento de iniciativas existentes actualmente.

Para propender a la formación de capital humano en hidrógeno se sugiere abrir un área prioritaria de conocimiento e investigación, para financiar proyectos relacionados con el hidrógeno verde.

Gracias a estudios como éstos, por ejemplo, en Alemania han comenzado a desarrollar baterías de sodio en lugar de baterías de litio. En este punto son relevantes los actores Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID), el CRUCH y CORFO, así como las alianzas de cooperación multilateral que puedan generarse.



Imagen:
Seguridad

La legislación vigente define el hidrógeno como sustancia peligrosa, no como combustible. Su adaptación es fundamental para el uso industrial de este vector energético.

"Security - Dictionary", Foto:
aag_photos, Licencia: CC BY-SA 2.0

04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.4 Regulación sobre seguridad y aprobación urgente de la ley de Eficiencia Energética

Actualmente, por razones de seguridad (el hidrógeno tiene estatus legal de sustancia peligrosa) no hay reglamentación, ni existen autorizaciones de SERNAGEOMIN, que permitan entrar con hidrógeno verde a instalaciones mineras. Es necesaria la entrada en vigor de la ley de eficiencia energética que permitirá al Ministerio de Energía regular estos aspectos por otras vías legales como decretos y reglamentos, especialmente el aspecto de la seguridad en la producción, el uso y transporte del hidrógeno verde.

En base a la experiencia del Consejo Nacional de Desarrollo Urbano (especialmente en su actual Grupo de Trabajo de Ciudad y Cambio Climático), se ha concluido que es clave tener siempre en mente la necesidad de revisar el marco normativo urbano establecido en la Ley General de Urbanismo y Construcciones y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, además de los planos reguladores, con el fin de asegurar una coherencia al momento de aplicar leyes sectoriales en la ciudad.





04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.5 Regular el diésel

El mayor competidor asociado al hidrógeno en la electromovilidad no es el gas licuado sino que es el diésel. Las celdas de combustible en los últimos 6 años han bajado sus costos un 70%, lo que sugiere que los costos se reducirán muchísimo antes de una década. Es indispensable revisar las regulaciones sobre el diésel para eliminar su ventaja competitiva sobre el hidrógeno.

4.6 Específicamente en el sector minero

Un camión minero de high class de 300 toneladas equivale a una demanda eléctrica de 2,5 MW, lo que equivale a un Pequeño Medio de Generación Distribuido (PMGD), a "un generador con ruedas". Hay muchas centrales de ese tamaño que están instaladas. Si esas centrales fueran a petróleo, están afectas a impuesto verde, pero ocurre que los camiones mineros con esta capacidad no pagan impuestos por las características que tienen.

En Chile hay aproximadamente mil de estos camiones, lo que equivaldría a una demanda de 2.500 MW, correspondiente a aproximadamente el 20% de la demanda eléctrica de Chile.

Imagen:

Camiones Mineros

Para avanzar hacia una minería sostenible en Chile se debe considerar que los camiones mineros generan 2,5 MW cada uno con generadores Diésel, cuya conversión a hidrógeno es relativamente sencilla.

"Mining Trucks", Foto: magnusvk,
Licencia: CC BY-NC-SA 2.0



04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

Las emisiones de este sector son muy altas por lo que no se entiende el vacío normativo que permite que este rubro goce de un subsidio indirecto mientras no paga impuesto a las emisiones.

Una solución sostenible sería migrar al cambio de camiones mediante el uso de sistemas trolley o al cambio de combustibles. Una correcta reforma al impuesto verde, haría parte de éste como sujetos pasivos a este tipo de vehículos, lo que permitiría que la industria se adapte en ese sentido. Ahí solamente hay un potencial de demanda gigantesco para el hidrógeno verde.

4.7 Tecnología de procesamiento de concentrados de cobre cero emisiones y cero residuos

Chile es el mayor productor de cobre del mundo; sin embargo, no ha sido capaz de crear un ecosistema de innovación en su entorno que genere nuevas tecnologías para uso local y para exportación. El Programa Nacional de Innovación en Minería, Alta Ley, estableció una "hoja de ruta" para avanzar hacia un ecosistema virtuoso de creación de valor entre la minería, sus proveedores e instituciones de investigación y desarrollo. Entre sus metas está tener 250 proveedores de clase mundial en minería al 2035.

Imagen:
Camión Minero High Class

Estos camiones mineros portan su propia planta de generación eléctrica para sus motores. Su conversión para usar combustible dual es posible lo que podría generar una alta demanda por hidrógeno en el sector minero de Chile.

"BIG Truck" Foto: arbyreed, Licencia:
CC BY-NC-SA 2.0



04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

La demanda mundial de cobre y litio está aumentando de forma sostenida por la transición energética y la electromovilidad y se requerirán minerales con baja huella de carbono. Chile tiene una posición privilegiada para capturar parte importante de ese mercado "premium" por sus niveles de radiación solar y la posibilidad de generar hidrógeno verde competitivo.

La tecnología desarrollada por la Universidad de Concepción ofrece una solución disruptiva para el procesamiento de concentrados de cobre con cero emisión y cero residuos - pionera en el uso de hidrógeno verde. La oportunidad de su escalamiento y despliegue en el mercado mundial es ahora.

4.8 Apoyo a emprendimientos basados en hidrógeno

Una política necesaria consiste en apoyar a los emprendimientos basados en hidrógeno. La primera medida podría ser la confección y difusión de una guía para emprendedores para el desarrollo de proyectos piloto en hidrógeno verde, que podría ser elaborada u utilizada en conjunto con CORFO.

Imagen:
Fundición de Metales

Las fundiciones tradicionales permiten refinar metales a un alto costo ambiental, debido al uso de combustibles fósiles así como por sus emisiones y residuos contaminantes. Nuevas tecnologías y diseños de procesos circulares permiten una pirometalurgia libre de emisiones y de residuos.

"Iron man", Foto: Antonis Lamnatos,
Licencia: CC BY 2.0



04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.9 Realizar un levantamiento de externalidades positivas

Existe una serie de externalidades positivas que deben ser levantadas para ser aprovechadas. Así por ejemplo, en el caso de buses baja considerablemente el costo de los repuestos, de mantención y los costos de energía (el precio es más conveniente que el del diésel). Los terminales de buses pueden ser ubicados en lugares más céntricos, debido a que no hay ruido ni emisiones contaminantes, además de una operación menos disruptiva.

También hay externalidades de género. Estudios indican que mujeres conduciendo buses eléctricos han sido más eficientes. Otro ejemplo es el de los altos costos de ventilación en los túneles de instalaciones mineras. Reducir las emisiones en los túneles genera una reducción de costos de ventilación y extracción de aire muy importante.

Imagen:
Ventilación de túneles

En la minería, uno de los ítems de mayor costo es el asociado a la ventilación de túneles para evacuar los gases tóxicos que emanan de los motores a combustión. Al convertir los vehículos a motores eléctricos impulsados por celdas de hidrógeno, este costo se reduce considerablemente.

"SR 99 tunnel ventilation ducts",
Foto: WSDOT, Licencia: CC BY-NC-ND 2.0



04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.10 Fomentar diversos mecanismos de financiamiento

Se debe fomentar diversos mecanismos de financiamiento para proyectos piloto en fase demostrativa. Así, se diferencian las distintas etapas de los proyectos que podrían generarse: proyecto piloto, proyecto comercial, proyecto demostrativo. Este fomento se logrará a través de Proyectos de Ley que permitan ampliar el abanico de posibilidades de financiamiento de estos proyectos en sus primeras etapas de vida, con el fin de generar un mercado del hidrógeno verde.

La mesa de trabajo sugiere legislar para obtener fondos provenientes de: (1) la cooperación internacional; (2) los acuerdos público privados (APPs), (3) de otras formas de recaudamiento de dinero como los esquemas asociativos, entre universidades, centros de formación técnica, gobiernos locales y otros actores. (4) del establecimiento de royalties y (5) sobre la base de la modificación a la ley de donaciones para que se prioricen proyectos relacionados al hidrógeno verde.

Cabe resaltar que la cooperación internacional no reembolsable sólo se encuentra normada en una política nacional de la AGCI, mientras que los APPs apenas se consagran de forma muy genérica en la Ley de Concesiones, por lo que una modernización a este respecto es primordial.

Imagen:

Cooperación internacional en materia de desarrollo tecnológico

Sin una cooperación con otros países que tienen un potencial similar al de Chile para el desarrollo del hidrógeno verde, no seremos capaces de avanzar rápidamente en esta materia.

"Hydrogen Fuel Cell conference",
Foto: Damian Kettlewell for council in
West Vancouver, Licencia: CC BY 2.0



Imagen:
Camiones de carga sin emisiones contaminantes

Otro sector altamente contaminante y con factibilidad de ser convertido a tecnología de hidrógeno es el transporte de carga.

"Kenworth/Toyota Fuel Cell Electric Truck (FCET)2", Foto: TruckPR, Licencia: CC BY-NC-ND 2.0



04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.11 Regulación del transporte de carga

Chile es un país con distancias muy largas y esto justifica de sobremanera el uso del hidrógeno en los camiones de carga, mientras que los vehículos eléctricos tradicionales con baterías de litio son para distancias mucho más cortas, o para utilizar dentro de las ciudades. Es un ámbito en el que se requiere regulación en Chile.

La Iniciativa H2V conoció el ejemplo de EE.UU., país en el que se han ido identificando las rutas de mayor tráfico para focalizar la instalación de las electrolizadoras de carga en ruta, para así comenzar con los proyectos con mayor viabilidad financiera y demanda.



04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.12 Oportunidad en cuanto a los vehículos de aeropuertos y puertos

El hidrógeno verde es una oportunidad para sacar de circulación varios vehículos que actualmente son muy contaminantes. Mucha maquinaria podría adaptarse al uso con hidrógeno o desplazarse. Se citan precisamente los vehículos motorizados que se emplean en puertos y aeropuertos por ser los de mayor cantidad de emisiones a nivel nacional.

Se vislumbra, con el hidrógeno verde, una posibilidad de modernización de estos sectores, la cual podría comenzar con el financiamiento de un par de proyectos piloto en aeropuertos de bajo tráfico, en zonas remotas, y de puertos específicamente en la Región de Magallanes, para luego avanzar hacia una legislación que incorpore las buenas prácticas aprendidas en dichos proyectos para cambios en aeropuertos y puertos de mayor tamaño.

Imagen:
Vehículos de Aeropuerto

Los vehículos de aeropuertos son un objetivo atractivo para ser convertidos a hidrógeno, debido a sus sus motores de alta potencia y de emisiones contaminantes.

"Airport vehicles", Foto: emrank,
Licencia: CC BY 2.0

COMISIÓN DESAFÍOS DEL FUTURO,
CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Y COMISIÓN DE MINERÍA Y ENERGÍA
DEL SENADO DE LA REPÚBLICA



Imagen:
Embarcación Cero Emisiones

Especialmente las embarcaciones usadas en los puertos y en la acuicultura, cuyos trayectos son cortos y las posibilidades de recarga son frecuentes, pueden ser convertidas a hidrógeno y así contribuir a la transición hacia una economía descarbonizada.

Crédito: "Zero Emission Feeder_2_1080",
Foto: Ørnulf Frødseth, Licencia: CC BY-ND 2.0

[VOLVER A ÍNDICE](#)

04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.13 Lanchas en el sur para la industria del salmón y para eco-turismo en los lagos del sur de Chile

Poder implementar un proyecto piloto en esta área también daría visibilidad al país en cuanto a temas ambientalmente sostenibles. La oxigenización en salmonicultura también es un tema relevante que debe regularse prontamente.

La importancia del pilotaje viene dada pues el aprendizaje industrial y de capital humano que queda de hacer pilotos ahorra mucho tiempo en ensayo y error, no debe entregarse sólo a la empresa, sino que debe estar la academia detrás.





Imagen:
Altos estándares de seguridad

La tecnología del hidrógeno requiere de estándares de seguridad altos. Esta tecnología no es nueva en nuestro país. Chile tiene una larga trayectoria y profesionales entrenados para ello.

"Liquid Hydrogen Tank Primed for Thermal Protection at Michoud", Foto: NASA's Marshall Space Flight Center, Licencia: CC BY-NC 2.0

04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.14 Seguridad

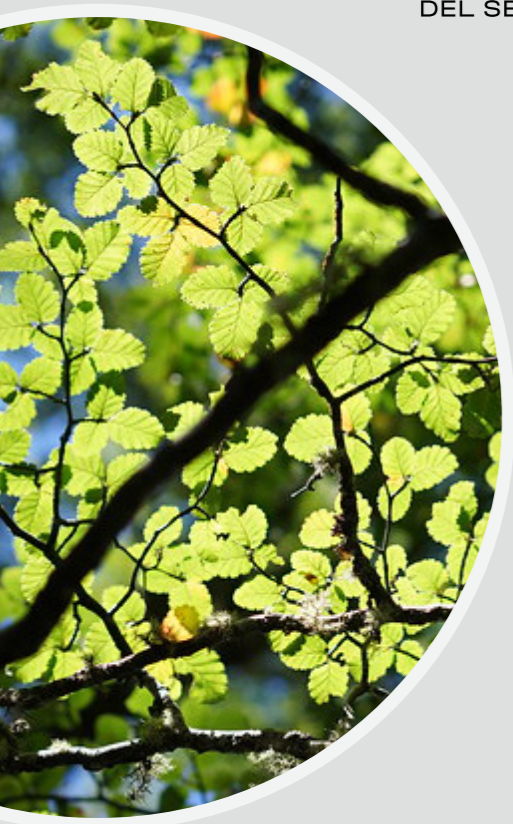
El fundamento de una regulación de hidrógeno es velar por la seguridad de las personas. Deben establecerse estándares de seguridad mínimos, los cuales varían dependiendo del segmento de que se trate: producción, transporte, incluso exportación de hidrógeno. Esto permitiría que la SEC contase con normativa necesaria para fiscalizar esta materia en particular y para dar oportunidad a los proyectos piloto. Se proponer explicitar su vinculación con la normativa urbana.

4.15 Estímulos a la demanda interna

La mesa de trabajo propone estimular la demanda interna por hidrógeno verde. Podrían considerarse dos sectores para esto: (a) Movilidad de transporte marítimo, y (b) la industria acuícola: en esta es muy importante la sustentabilidad, la cual otorga un valor de mercado superior al 10% de incremento del precio del salmón en la industria internacional.

Pero esa sustentabilidad no se puede lograr con solo generadores diésel, sino que con el fomento a servicios complementarios. En este sentido, hay un gran desafío tecnológico en producir hidrógeno con agua de mar; mejorar la eficiencia de los electrolizadores y en el desarrollo de nuevos materiales; y en reemplazar diésel por hidrógeno.





04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.16 Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

Resulta relevante también como conclusión de la mesa de trabajo regular la institución de la Evaluación Ambiental en proyectos de hidrógeno verde, pues a la fecha no está claro si requieren evaluación o declaración al momento de proponerse nuevos proyectos. Por lo mismo se requiere de una norma que explicita lo anterior y que distinga entre los segmentos de la cadena del hidrógeno verde: producción, uso, transporte, entre otros.

4.17 Reforma al impuesto verde

La Iniciativa H2V propone reformar el impuesto verde. Establecer umbrales más altos de tributación es fundamental. En el actual esquema de tributación, varios generadores de energía en base a fuentes renovables han "subsidiado" a otros que utilizan combustibles fósiles. Así, la implementación del impuesto verde ha generado incluso prejuicios contra empresas que no emiten gases contaminantes, aquellas con fuentes de energía renovables, ya que se estableció que todas las empresas que tienen contratos de venta con energía con clientes deben compensar a las empresas afectas al impuesto.

Imagen:

Respeto al Medio Ambiente

Las normativas ambientales deben ser adaptadas para dar ventaja a las tecnologías sustentables y no contaminantes.

"Alerce Forest", Foto: jwhardwick,
Licencia: CC BY 2.0



04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.18 Un ecosistema de confianza

La mesa de trabajo concluye que deben buscarse incentivos para que se genere un ecosistema de confianza para competir con Australia y países de Medio Oriente, por ejemplo, a través de incentivos tributarios que directamente privilegien a proyectos basados en soluciones de hidrógeno verde.

Chile podría diseñar una marca país en torno a la sostenibilidad, en la cual el hidrógeno juega un rol fundamental en los sectores que más contribuyen a las emisiones.

Chile podría llegar a posicionarse como un "vendedor de sostenibilidad", explotando alianzas con otros gobiernos y con sectores financieros.

Otros incentivos más allá de las exenciones tributarias podrían ser porcentajes mínimos de producción de hidrógeno como se utilizó en el desarrollo de las energías renovables, cuestión que debiese incorporarse a la brevedad en la política nacional de hidrógeno desarrollada por el Ministerio de Energía.

Imagen:
Gotas de lluvia

"Raindrops", Foto: Isidro Cea,
Licencia: CC BY-NC-ND 2.0

COMISIÓN DESAFÍOS DEL FUTURO,
CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
Y COMISIÓN DE MINERÍA Y ENERGÍA
DEL SENADO DE LA REPÚBLICA



04 Propuestas recogidas por la Iniciativa

4.19 Vínculos entre la academia y la comunidad científica con la sociedad civil y el Congreso

Esta Iniciativa de las Comisiones Desafíos del Futuro, Ciencia, Tecnología e Innovación y de Minería y Energía del Senado de la República propone también la creación de un repositorio con información sobre hidrógeno, iniciativas comparadas, aspectos técnicos y otros abierto al público o bien para los integrantes de este grupo, con el objetivo de vincular a la academia y la comunidad científica con la sociedad civil y los parlamentarios.

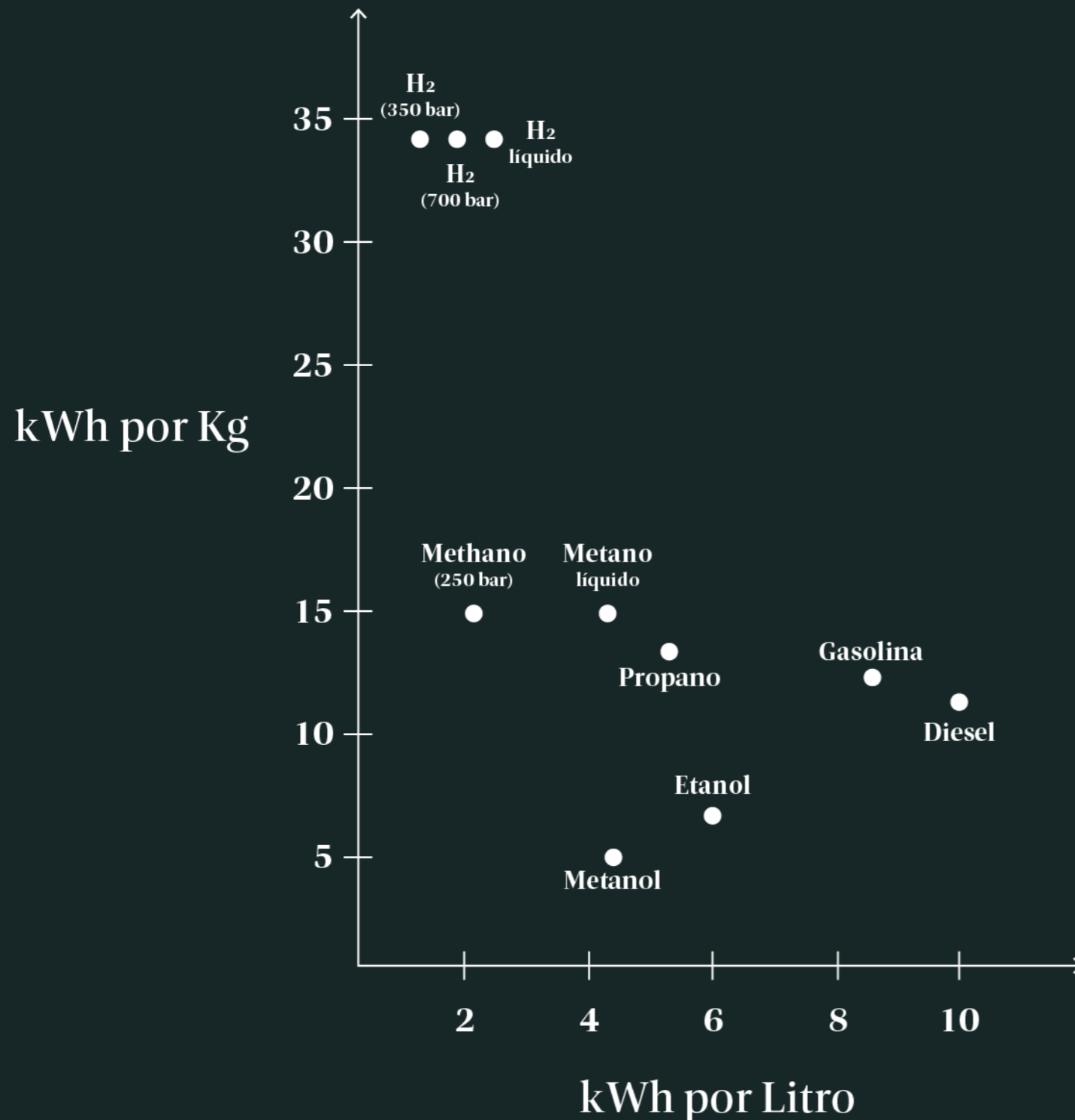
Imagen:

Vínculo con la academia

Sede de la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo en Santiago.

Foto: dominio público

Valor energético de combustibles en kWh



El hidrógeno es el combustible que contiene mayor energía por unidad de masa. Si se compara con otros combustibles, 1 kg de H₂ es equivalente a 2,78 kg de gasolina o 2,8 kg de Diesel.

Esta ventaja con respecto a otros combustibles viene contrarrestada por su baja densidad por unidad de volumen, es decir, se necesitará mayor espacio para almacenar 1 kg de H₂, que 1 kg de gasolina o etanol. Por eso el hidrógeno se almacena a altas presiones, llegando a 700 bares. El neumático de un vehículo está a una presión de entre 2 y 3 bares.

El potencial de exportación del hidrógeno verde generado en Chile



El costo de producir hidrógeno verde en Magallanes podría ser el más bajo del planeta, con un rango de US\$ 1,7 por kilo en 2025 y del orden de US\$ 0,8 por kilo hacia 2050, muy por debajo de los casi US\$ 3 por kilo que se proyectan para la zona central en la primera de estas fechas, rango de costos que es similar en países de Medio Oriente, por ejemplo, que aparecen como competidores.

Fuente : El Mercurio, domingo 3 de enero de 2021, página B9



Imagen:
Edificio Congreso Valparaíso

"Edificio Congreso Valparaíso"
Foto: Senado de la República de Chile,
Licencia: CC BY-NC-ND 2.0

05 Propuestas legislativas y regulatorias

5.1 PL para I+D en hidrógeno verde

La Iniciativa H2V de las Comisiones Desafíos del Futuro, Ciencia, Tecnología e Innovación y de Minería y Energía del Senado de la República propone fomentar diversos mecanismos de financiamiento para proyectos piloto en fase demostrativa. Así, se diferencian las distintas etapas de los proyectos que podrían generarse: proyecto piloto, proyecto comercial y proyecto demostrativo.

La Iniciativa propone formular Proyectos de Ley que permitan ampliar el abanico de posibilidades de financiamiento de estos proyectos en sus primeras etapas de vida, con el fin de generar un mercado del hidrógeno verde.

Así, se sugiere legislar para obtener fondos provenientes de la cooperación internacional, de acuerdos público privados (APPs), de otras formas de recaudamiento de dinero como los esquemas asociativos, entre universidades, centros de formación técnica, gobiernos locales y otros actores así como del establecimiento de royalties. Se sugiere modificar la ley de donaciones para que se prioricen proyectos relacionados al hidrógeno verde.





Imagen:
Edificio Congreso Valparaíso

"Edificio Congreso Valparaíso"
Foto: Senado de la República de Chile,
Licencia: CC BY-NC-ND 2.0

05 Propuestas legislativas y regulatorias



5.2 PL sobre Electromovilidad

La Iniciativa propone que la electromovilidad no sólo sea circunscrita a camiones mineros, sino abrir nichos con una mirada amplia: transporte público, sector acuícola, agroindustria, incluso botes para potenciar el eco-turismo. Chile tiene muchos frentes abiertos para hacer pilotajes desde la industria del salmón y acuícola. Al legislarse, se debiese priorizar el transporte público y transporte de carga.

En la minería serían especialmente importantes los avances en vehículos de potencia media. Otros vehículos, como buses interurbanos, podrían dejar muchísimo *know how* en el país. También los trenes son buena opción por las características geográficas del país.

En el sector agrícola se pueden hacer desarrollos de plantas demostrativas, dando servicios complementarios que mejoren el valor de los productos que se están produciendo en la agroindustria (desde mejorar la tecnología para los tractores hasta utilizando almacenamiento para las fuentes renovables de energía en el invierno). Un proyecto de ley en esta área podría fijar cuotas de vehículos con hidrógeno en futuras licitaciones, por ejemplo un 5% de los nuevos buses.



Imagen:
Edificio Congreso Valparaíso

"Edificio Congreso Valparaíso"
Foto: Senado de la República de Chile,
Licencia: CC BY-NC-ND 2.0



05 Propuestas legislativas y regulatorias

5.3 PL de Eficiencia Energética

Es necesaria la entrada en vigor de la ley de eficiencia energética que permitirá al Ministerio de Energía regular por vías legales como decretos y reglamentos, especialmente el aspecto de la seguridad en la producción, el uso y transporte del hidrógeno verde.

5.4 PL Regulación del Diésel

El mayor competidor asociado al hidrógeno en la electromovilidad no es el gas licuado sino que es el diésel, a pesar de sus impactos socioambientales.

Sus ventajas económicas deben eliminarse para poder fortalecer la industria del hidrógeno verde.



05 Propuestas legislativas y regulatorias

5.5 Proyectos de Ley específicos del sector minero

Las emisiones del sector minero son particularmente altas, por lo que es imperativo cambiar la normativa que permite que este rubro goce de un subsidio indirecto al diésel, mientras no paga impuesto a las emisiones. En esta área hay un potencial de demanda gigantesco para el hidrógeno verde.

5.6 Regulación relativa al transporte de carga

El transporte de carga a largas distancias es un sector muy importante que podría regularse en el país para favorecer uso de hidrógeno. Otros países han ido identificando las rutas de mayor tráfico para focalizar la instalación de las electrolizadoras de carga en ruta, para así comenzar con los proyectos con mayor viabilidad financiera y demanda.

Imagen:
Edificio Congreso Valparaíso

"Edificio Congreso Valparaíso"
Foto: Senado de la República de Chile,
Licencia: CC BY-NC-ND 2.0



05 Propuestas legislativas y regulatorias

5.7 Regulación a los vehículos de aeropuertos y puertos

Mucha de la maquinaria utilizada en puertos y aeropuertos podría desplazarse hacia el hidrógeno. El hidrógeno verde es una oportunidad para sacar de circulación varios vehículos que son muy contaminantes hoy en día. Un proyecto de ley podría promover la modernización de los vehículos motorizados que se emplean en puertos y aeropuertos.

Imagen:
Edificio Congreso Valparaíso

"Edificio Congreso Valparaíso"
Foto: Senado de la República de Chile,
Licencia: CC BY-NC-ND 2.0



Imagen:
Iniciativa Hidrógeno Verde

"Hydrogen Powered Mustang",
Foto: Hugo-90, Licencia: CC BY 2.0

06 Agradecimientos

La Comisión Desafíos del Futuro, Ciencia, Tecnología e Innovación, junto a la Comisión de Minería y Energía del Senado de la República, agradecen a las personas e instituciones que colaboraron para la preparación de este informe. Las reuniones de los sub-grupos de la Iniciativa H2V fueron insumos de gran importancia utilizados en la presentación de las propuestas legislativas que componen el presente documento.

Hacemos un especial reconocimiento a los académicos, científicos, asesores y representantes de la sociedad civil cuya colaboración y dedicación permitieron la obtención de datos relevantes acerca de la actualidad y las proyecciones futuras de la industria del hidrógeno. Sin su orientación, las ideas y el apoyo brindado la presentación de estas páginas no habría sido posible.

Se agradece, además, el apoyo logístico y técnico de la Sección Estudios de la Biblioteca del Congreso Nacional, por su apoyo en el proceso de levantamiento de información, monitoreo de los sub-grupos y de la iniciativa en general, junto con la confección del documento final; a los Senadores y asesores legislativos presentes en las discusiones de las diversas temáticas presentadas; y a los participantes provenientes de los Ministerios de Transportes y Energía, la Asociación Chilena de Energías Renovables y Almacenamiento ACERA A.G, las diversas Universidades participantes, la Asociación Chilena de Hidrógeno, diversas empresas nacionales e internacionales del sector privado y empresas consultoras, el Centro de Estudios sobre el Cobre y la Minería, la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, entre varias otras instituciones que respaldaron la presente iniciativa.





Imagen:
Iniciativa Hidrógeno Verde

"Hydrogen Powered Mustang",
Foto: Hugo-90, Licencia: CC BY 2.0

06 Agradecimientos

a) Senadores de la Comisión "Desafíos del Futuro, Ciencia, Tecnología e Innovación"

Pdte.: Senador Guido Girardi Lavín
Senador Alfonso de Urresti Longton
Senadora Carolina Goic Boroevic
Senador Francisco Chahuán Chahuán
Senador José Antonio Coloma Correa

b) Senadores de la Comisión "Minería y Energía"

Pdte.: Senador Rafael Prohens Espinosa
Senador Alejandro García Huidobro
Senador Alvaro Elizalde Soto
Senador Guido Girardi Lavín
Senadora Yasna Provoste Campillay

c) Asesores Legislativos

Carolina Vivanco (Senadora Carolina Goic)
Juan Walker (Senador Guido Girardi)
Christian Torres (Senadora Yasna Provoste)

d) Comité permanente

Alberto Ortega - Ministerio de Energía
Alejandro Karelovic - U. de Concepción
Antonio Sánchez - U. T. Federico Santa María
Carlos Busso - Asociación Chilena de Hidrógeno
Carlos Finat - Asociación Chilena de Energías Renovables y Almacenamiento ACERA A.G.
Carlos Portillo - Universidad de Antofagasta
Carlos Restrepo - Universidad de Talca
Daniel Serafini - U. de Santiago de Chile
Erwin Plett - Asociación Chilena de Hidrógeno
Ignacio Pérez - Anglo American Chile
Jaime Aleé - ESK Consulting
Jorge Vargas - SERNAGEOMIN
José Ignacio Galindo - Alset Ingeniería SpA
José Rodríguez - Universidad Andrés Bello
Juan de Dios Rivera Agüero - Consultor





Imagen:
Iniciativa Hidrógeno Verde

"Hydrogen Powered Mustang",
Foto: Hugo-90, Licencia: CC BY 2.0

06 Agradecimientos

Juan Rada - Presidente de Globtech
Karin von Osten - Carbon Biocapture/
Sustenta
Marcela Angulo - Universidad de Concep-
ción
Mario Toledo - U. T. Federico Santa María
Melanie Collet - Universidad de Chile
Patricia Darez - 350renewables
Patricio Lillo - Escuela de Ingeniería, PUC
Patricio Valdivia - Universidad Técnica Fe-
derico Santa María
Rebeca Poleo - PMP Trachtebel, Engie
Group
Rodrigo Navia - Universidad de la Frontera
Rodrigo Palma - Universidad de Chile, SERC
Romina Cid - CWEEL Chile
Romina Paillao - Representante Sociedad
Civil
Ruth Rain - CORFO
Samir Kouro - U. T. Federico Santa María
Saravanan Rajendran - U. de Tarapacá
Yahaira Fiallos - CWEEL Chile

e) Expertas y Expertos

Alejandra Wood - CESCO
Ana María Ruz Frías - Comité Solar CORFO
Asunción Borrás - ENGIE
Benjamín Maluenda - Ministerio de Energía
Christian González - Min. del Transporte
Emiliano Burgos, ABB Group
Fabiola Cid - ANID
George Williams - AdapTec
Humberto Verdejo - USACH
Jay Keller - AdapTec DOE & HySafe
José Ignacio Escobar - ACCIONA
Joseph Pratt - Golden Gate Zero Emissions
Marine
Manuel Morales - Mineduc
Marcelo Cortinez - PTI Energía Renovables
María de Los Ángeles Valenzuela - Comité
Solar CORFO
Monica Brevis - MINEDUC
Peter Bryn - ABB Group
Pilar Giménez - CNDU
René Espinoza - Fundación Transurbano





Imagen:
Iniciativa Hidrógeno Verde

"Hydrogen Powered Mustang",
Foto: Hugo-90, Licencia: CC BY 2.0

06 Agradecimientos

Susan Schoenung - AdapTec
Victor Dorner - Codelco
Úrsula Bustamante - ENAEX S.A

f) Equipo Biblioteca del Congreso Nacional

Boris Lopich - Sección Estudios
Marek Hoehn - Sección Estudios

g) Equipo Consejo del Futuro

Amélie Kim Cheang - Secretaria Ejecutiva
Carlos Vázquez - Asesor
Hugo Opazo - Asesor
Carla Morales - Diseñadora Gráfica

