



POTENCIAL DE EMPLEO DEL HIDRÓGENO VERDE:
UN ANÁLISIS AL ESTADO ACTUAL DE LA INDUSTRIA
EN CHILE

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN ANÁLISIS ECONÓMICO

ALUMNO: JOSÉ IGNACIO ABARZÚA ARÁNGUIZ ¹

PROFESOR GUÍA: MANUEL AGOSIN ²

Santiago, Octubre 2024.

¹ jabarzuua@fen.uchile.cl

² managosin@fen.uchile.cl



Índice

Introducción	3
Capítulo 1: Qué es el hidrógeno verde (H₂V) y cuáles son sus usos	4
Capítulo 2: Hidrógeno verde en Chile	6
Capítulo 3: Potencial de empleo directo de la industria de hidrógeno verde en Chile	9
3.1 Metodología y datos	9
3.2 Empleo temporal	11
3.3 Empleo permanente	12
Capítulo 4: Empleo indirecto	17
Capítulo 5: Conclusiones	19
Bibliografía	21
ANEXOS	25
Anexo 1	25
Anexo 2	26
Anexo 3	27
Anexo 4	28
Anexo 5	29
Anexo 6	30
Anexo 7	31
Anexo 8	32
Anexo 9	33



Introducción

Esta Actividad Formativa Equivalente (AFE) se enfocará en analizar el potencial de empleo que el desarrollo de la industria del hidrógeno verde podría generar en Chile. Específicamente, se buscará responder a la pregunta de: ¿Realmente la industria del hidrógeno verde generará el empleo que promete?

El hidrógeno verde representa una oportunidad para generar energía limpia destinada a hogares y vehículos, además de reducir la huella de carbono en diversas industrias. Chile, con su riqueza natural y condiciones geográficas favorables, tiene una oportunidad única para liderar la producción y exportación de este compuesto.

La abundancia de energía solar y eólica en nuestro país permite una producción sostenible y altamente eficiente, posicionándolo competitivamente como un agente pionero en los mercados mundiales. Aprovechar esta oportunidad podría impulsar significativamente el crecimiento económico de Chile y contribuir al cuidado del medio ambiente al mismo tiempo.

A través de un enfoque técnico, se buscará estimar el potencial de empleo basado en los proyectos ya anunciados a nivel nacional, centrándose en las características propias de cada uno y analizando como se comportaría la industria si funcionara a su total capacidad, para luego ir relajando supuestos para dar más realidad a las estimaciones.

Posteriormente, se hará uso de ponderadores que permiten incorporar también el potencial de empleo indirecto a nuestras estimaciones, logrando así contabilizar de mejor manera el efecto “*spill-over*” de esta industria.

Los resultados preliminares indican que el empleo total (directo + indirecto) generado por los proyectos de hidrógeno verde anunciados será considerablemente menor a los 100.000 mencionados en fuentes como la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde. Además, estos empleos estarán principalmente concentrados en tareas relacionadas con la generación de electricidad renovable, en lugar de estar directamente vinculados al hidrógeno verde en sí.

La estructura del documento es la siguiente: en el capítulo 1 se realiza una breve descripción de qué es el hidrógeno verde, cuáles son sus usos, y como se desarrolla su industria a nivel mundial. En el capítulo 2 se describirá como es el estado de esta misma industria en Chile. En el capítulo 3 se explicará el potencial de creación de empleo directo asociado a la industria de hidrógeno verde en Chile, presentado una descripción de los tipos de empleo que se analizarán. En el capítulo 4 se presentarán los ponderadores para incorporar el empleo indirecto a las estimaciones. Finalmente, el capítulo 5 presenta las conclusiones de este estudio.

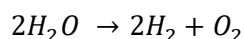


Capítulo 1: Qué es el hidrógeno verde (H2V) y cuáles son sus usos

El hidrógeno (H₂) es un elemento sumamente abundante ya que constituye aproximadamente el 75% de la materia del universo (Centro Nacional del Hidrógeno, 2024), pero siempre se encuentra combinado a otros elementos como el oxígeno (en las moléculas de agua), el carbono, el metano u otros, por lo que debe ser “*fabricado*” para su uso.

Existen diversas formas de producir hidrógeno, las cuales dependen principalmente de la materia prima utilizada. Si la materia prima es metano, biometano o carbón, el hidrógeno se produce, generalmente, mediante reformado con vapor y/o gasificación, mientras que si la materia prima es agua, el proceso utilizado es la electrólisis (AE, 2021).

La electrólisis del agua para producir hidrógeno requiere de un electrolizador, el cual utiliza energía eléctrica para romper los enlaces de la molécula de agua y generar la siguiente reacción química (Fúnez Guerra & Reyez-Bozo, 2019):



Esta descomposición de la molécula de agua entrega como resultado 2 moléculas de hidrógeno (H₂) y una de oxígeno (O₂), las cuales se encuentran en estado gaseoso. Posteriormente, el hidrógeno es almacenado o combinado con otros elementos para formar distintos compuestos (como por ejemplo amoníaco), mientras que el oxígeno es liberado al ambiente.

En la actualidad, sólo el 2% del hidrógeno que se produce en el mundo se hace por la vía de la electrólisis. Esto ocurre principalmente por su elevado costo relativo a otros métodos de producción (Kilner, 2022), aunque esta situación debería revertirse en el futuro ya que la tecnología de la electrólisis está siendo objeto de un intenso desarrollo para hacerla más eficiente.

Los usos del hidrógeno son muy diversos, ya que se utiliza en diversos procesos industriales como materia prima para la industria petroquímica, síntesis de amoníaco (producción de fertilizantes) y/o producción de metanol para una amplia variedad de productos (UCU, 2022). Además, se utiliza en la hidrogenación de grasas y aceites, la elaboración de vitaminas y otros productos farmacéuticos/químicos (Nieto Gallego, 2018).

El hidrógeno también se puede utilizar como fuente de energía en forma de combustible ya que puede alcanzar temperaturas de 1000°C al quemarse y puede ser almacenado en pilas de combustible para producir electricidad (TÜV Rheinland, 2024), aunque es necesario destacar que, por sí solo, no es una fuente de energía directa ya que requiere de un proceso productivo previo .

Con respecto al potencial energético del hidrógeno, la densidad energética volumétrica en condiciones normales del hidrógeno es 2,2 kWh/m³, mientras que la densidad energética volumétrica del petróleo es 10.445 kWh/m³. Esto quiere decir que, a igual volumen, el hidrógeno contiene solo 0,0002 veces la energía que contiene el petróleo (UCU, 2022).

Dado que el hidrógeno requiere de un proceso productivo previo, su potencial energético se centra más bien en ser “vector energético”, el cual tiene el propósito de almacenar energía y permitir el transporte, la distribución y el uso de esta.



Según el Global Hydrogen Review 2023 realizado por la IEA, durante el año 2022 la producción de hidrógeno a nivel mundial alcanzó el orden de los 95 millones de toneladas, siendo sus principales productoras y consumidoras las refinerías (IEA, 2023). Aproximadamente el 85% del total de hidrógeno producido se utiliza en el mismo lugar y cuando se comercializa, generalmente, se transporta a distancias cortas debido a dificultades logísticas y elevados costos.

El hidrógeno puede ser categorizado en 5 colores, dependiendo de su tecnología de producción y la materia prima utilizada, siendo el hidrógeno verde (H2V) el más limpio de todos en términos de potencial de reducción de emisiones, así como en la generación de subproductos (BWMi, 2020). Las distintas categorías/colores del hidrógeno se resumen en el [Anexo 1](#).

Si bien la gran mayoría de la producción de hidrógeno en la actualidad es del tipo gris, el número de proyectos anunciados para la producción de hidrógeno con bajas emisiones aumenta rápidamente y podrían llegar a totalizar unos 38 millones de toneladas (40% de la producción actual) para el año 2030 (IEA, 2023), en el caso de que todos los proyectos anunciados se concreten.

Mientras que el H2V es la vía de producción de hidrógeno más limpia, todavía está lejos de ser una opción competitiva respecto de sus pares más contaminantes. El elevado costo de las fuentes de energía renovables tiene como consecuencia que el hidrógeno verde tenga un precio que oscila entre los 3-7,5 USD/Kg, mientras que el hidrógeno producido con gas natural o carbón tiene valores de 0,9-3,2 USD/Kg y 1,2 – 2,2 USD/Kg, respectivamente (IEA, 2019).

Este precio, al menos un 300% mayor, del hidrógeno verde genera que sus consumidores deban estar dispuestos a pagar un sobreprecio por esta opción más carbono neutral, tal como señala Schmidt-Hebbel et al (2022) en las estimaciones realizadas en su libro *“La revolución del hidrogeno verde y sus derivados en Magallanes”*.

Si bien el supuesto de aceptar un sobreprecio por una opción más ecológica tiene sentido, dado el rápido avance del cambio climático, perfectamente pueden darse contextos (crisis económicas, guerras, etc) que imposibiliten a las empresas y/o países de poder acceder a esta opción de mayor valor. Es imperante que aumenten los esfuerzos para desarrollar nuevas tecnologías que hagan más eficiente la producción de hidrogeno verde, con el objetivo de hacer viable una matriz de producción más verde a nivel mundial.



Capítulo 2: Hidrógeno verde en Chile

Durante el año 2020, Chile fue el primer país de la región en publicar su “Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde”, poniendo esta industria como un eje central para lograr el objetivo de alcanzar la carbono-neutralidad para el año 2050. El potencial del país es notable, ya que la misma estrategia menciona estudios que otorgan a Chile un potencial de producción de hidrógeno verde (H2V) de unos 160 millones de toneladas al año, a precios altamente competitivos.

La apuesta por el hidrógeno verde de Chile se basa en que existirá una disminución de los costos de producción de las energías renovables y la electrólisis, lo cual en conjunto con la necesidad de descarbonizar todos los sectores de las economías impulsará un mercado global del hidrógeno verde y sus derivados (Ministerio de Energía, 2020).

Por su parte, la Agencia de Energía Renovable Internacional (IRENA por sus siglas en inglés) estima que para el mismo año 2050 el hidrógeno verde representará hasta el 12% de la energía mundial utilizada (IRENA, 2022) y ha identificado específicamente a Chile dentro del top de países que podrían destacarse como exportadores.

En palabras del Ministro de Energía de Chile, Diego Pardow, *“Chile tiene una ventaja comparativa para la producción de hidrógeno verde, pues tiene un enorme potencial para generar energías renovables con niveles extraordinarios de eficiencia”*. Este enorme potencial mencionado por el ministro puede resumirse principalmente en 2 factores:

1. Energía solar (en la región de Antofagasta)
2. Potencial eólico (en la región de Magallanes).

La energía solar es una energía renovable que utiliza la radiación electromagnética proveniente del sol. La cantidad de energía solar que incide por unidad de área y tiempo (kWh / m² al día) corresponde al principal criterio para seleccionar el lugar de ubicación de una planta solar y la zona norte de Chile posee la mayor incidencia solar del mundo (Generadoras de Chile, 2024), principalmente en el desierto de Atacama y zonas próximas.

Por su parte, la energía eólica es una energía renovable que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los aerogeneradores, los que equivalen a “molinos de viento” que transforman la energía cinética del viento en energía mecánica (Generadoras de Chile, 2024).

Específicamente, la Región de Magallanes posee uno de los mayores potenciales eólicos a nivel mundial, con un potencial estimado de 126.000 MW (Ministerio de Energía, 2021). En el caso de poder aprovechar todo este potencial, el Ministerio de Energía estima que la región podría llegar a producir más de 10 millones de toneladas de hidrógeno verde al año (Ministerio de Energía, 2021), lo cual equivale al 13% de la producción mundial.

Las expectativas sobre el potencial del hidrógeno verde en el país son muy elevadas, siendo incluso comparado con sectores tan importantes como la minería, pero todavía falta camino para que se logre establecer como una industria real que contribuya al combate contra el cambio climático y, a su vez, genere crecimiento y oportunidades para los chilenos.



Si aterrizamos todo lo expuesto con anterioridad a proyectos reales, podemos notar que actualmente estamos muy lejos del potencial que tanto se menciona. Según datos proporcionados por la Asociación Chilena de Hidrógeno H2 Chile, a nivel nacional existen tan solo 67 proyectos oficializados, de los cuales solo 6 se encuentran en estado Operativo y que representan una producción de tan solo 50 toneladas al año (H2 Chile, 2024).

Este número tan bajo se debe a que los proyectos actualmente en operación corresponden a proyectos piloto, con una escala muy pequeña y cuya función es principalmente experimental. El estado de los proyectos a nivel nacional se resume en el [Anexo 2](#).

Podemos notar claramente que la gran mayoría de los proyectos se encuentran en sus primeras etapas, en donde los trabajos se centran en estudios de viabilidad de los proyectos y/o tramitación previa.

En Chile, el proceso de tramitación para proyectos de mayor magnitud toma en promedio unos 4 años (Browne, 2023), lo cual provoca que la gran mayoría de los proyectos estén programados para entrar en operación desde el 2027 en adelante o que ni siquiera tengan un estimado de cuando entrarán en operación, reflejando también los altos niveles de incertidumbre que existen sobre esta industria actualmente.

En los datos informados de los proyectos podemos encontrar la potencia nominal de electrolisis que cada proyecto poseerá, lo cual puede ayudarnos a darle ordenes de magnitud a cada uno antes de que los mismos entren en operación. La potencia nominal hace referencia a la potencia máxima a la cual podrá operar el proceso de electrolisis de cada proyecto, lo cual podemos utilizar para estimar aproximadamente cual sería la producción de hidrógeno en caso de que se opere a máxima potencia constantemente (supuesto que hace que las cifras estén sobreestimadas ya que no siempre las plantas podrán operar a máxima potencia).

Se necesitan 50 kWh para producir 1 kg de H2 en una hora (Troncoso, 2021), lo cual quiere decir que se necesitan 0,05 GWh para producir 1 tonelada de H2. Si realizamos los supuestos fuertes de que cada planta de hidrógeno funciona a su potencial nominal durante todo el año y que la eficiencia del electrolizador es de 100%, podemos utilizar la potencia nominal para estimar cual sería la producción anual de cada planta.

Si multiplicamos las horas del año (8.760) con la potencia nominal de cada planta, y hacemos la conversión de GWh a toneladas de H2, podemos obtener la producción estimada anual de cada proyecto. Si repetimos este ejercicio agrupando según el estado de avance de los proyectos, obtenemos la producción anual de H2V asociada a cada estado del proyecto. En el [Anexo 3](#) se encuentran los resultados de las estimaciones.

Al analizar la producción estimada en cada estado podemos obtener 2 conclusiones importantes:

1. Los proyectos de mayor magnitud (aquellos con mayor potencial nominal y producción estimada) se encuentran actualmente en las etapas iniciales de prefactibilidad y factibilidad, agrupando más del 82% del potencial total de electrolisis.
2. La producción anual de un poco más de 3 millones de toneladas de hidrógeno verde al año estimadas está muy por debajo de los 160 millones de toneladas potenciales que se mencionan en la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde.

Si bien no es totalmente acertado realizar una comparación entre producción potencial y proyectos en desarrollo, esto nos permite tener una idea sobre lo lejos que se encuentra el país actualmente de



sus objetivos a largo plazo. Si se quiere lograr alcanzar una producción anual de 160 millones de toneladas, es necesario empezar a analizar desde ya cuales son los cuellos de botella que tienen a la gran mayoría de los grandes proyectos en etapas preliminares y cómo es posible solucionar esto, ya sea con una aceleración del avance de los proyectos o con la llegada de nuevos proyectos de magnitudes considerables.

Por otro lado, si revisamos la distribución territorial de los proyectos podemos notar que no es pareja a lo largo del país, ya que la gran mayoría de los proyectos se ubican en las regiones de Antofagasta y Magallanes. En el [Anexo 4](#) se presenta la cantidad de proyectos anunciados con información suficiente para realizar estimaciones y su respectiva producción anual estimada.

Tal como se ve en la tabla, 38 de los 54 proyectos anunciados debidamente³ se concentran en las regiones de Magallanes y Antofagasta, lo que se traduce en una concentración de más de 70% de la producción anual estimada.

Los proyectos individuales de mayor magnitud se encuentran principalmente en la región de Magallanes, los cuales buscan utilizar su enorme potencial eólico, ubicación geográfica y capacidad ya instalada para enfocarse en la exportación de componentes que utilizan hidrógeno verde, principalmente amoníaco y E-fuels⁴.

Magallanes posee una muy pequeña población y la conectividad con el resto del país es compleja, lo cual facilita que los incentivos de los proyectos se centren más en la exportación que en abastecer un mercado interno.

Por su parte, la región de Antofagasta presenta otro enfoque en sus proyectos⁵, los cuales se centran más en el mercado interno o tienen un enfoque mixto (tanto mercado interno como exportación).

La región de Antofagasta tiene un considerablemente mayor desarrollo industrial que la región de Magallanes, lo cual explica porque su matriz de productos tiene como principal componente al hidrógeno.

³ De aquí en adelante se tendrán en cuenta solo aquellos proyectos que informan correctamente la información necesaria para poder realizar estimaciones.

⁴ En el [Anexo 5](#) se pueden apreciar los productos principales anunciados de los proyectos de la región de Magallanes.

⁵ En el [Anexo 6](#) se pueden apreciar los productos principales anunciados de los proyectos de la región de Antofagasta.



Capítulo 3: Potencial de empleo directo de la industria de hidrógeno verde en Chile

En Chile, la Estrategia Nacional de Hidrogeno Verde señala que la industria creará al menos 100.000 nuevos empleos para el año 2030, los cuales serán empleos más sofisticados, satisfactorios y generarán valor local en las regiones (Ministerio de Energia, 2020).

Si bien cualquier desarrollo de una nueva industria genera nuevos empleos, no es verdad de que se crearán muchos empleos de carácter “*especial*”. Algunos de los nuevos empleos que esta industria creará corresponderán a mantenedor/a en planta de hidrógeno (ChileValora, 2023), operador/a en planta de hidrógeno (ChileValora, 2023) y supervisor/a en planta de hidrógeno (ChileValora, 2023), los cuales requieren de habilidades que son perfectamente extrapolables de otras industrias ya establecidas.

Además, los 100.000 nuevos empleos mencionados están sumamente sobrestimados, ya que esta nueva industria es altamente intensiva en capital y su principal componente de empleo se ubica en la etapa de construcción de las plantas.

Es necesario tener en cuenta que el empleo en el sector de la construcción es generalmente de carácter móvil y temporal, por lo que, si queremos considerar la cantidad de personas empleadas en la industria de H2V a largo plazo, debemos enfocarnos en trabajos de carácter permanente.

Por otro lado, ya que el H2V se produce utilizando energías renovables, es necesario separar el empleo que se crea netamente en la etapa de producción de hidrogeno con el empleo propio de la etapa de generación de energía eléctrica.

Si bien la producción de energía renovable también es intensiva en capital, emplea más personas en su producción que fuentes no renovables como gas, petróleo o carbón (ver [Anexo 7](#)). Dentro de las energías renovables, la que más emplea trabajadores es la energía solar fotovoltaica (FV) con 5,36 trabajadores por GWh producido, seguido de la solar térmica con 1,5 y la eólica con 0,84.

En resumen, además de diferenciar entre empleos en producción de energía y en generación eléctrica, es necesario separar el empleo de carácter temporal, relacionado principalmente a construcción y habilitación, del empleo permanente, relacionado a labores de operación y mantenimiento (O&M) de las plantas generadoras y de producción.

3.1 Metodología y datos

Para lograr hacer una estimación precisa del potencial de empleo directo propio de la industria de H2V se realizó una metodología basada en factores de empleabilidad, centrándonos exclusivamente en la capacidad nominal de proyectos anunciados exclusivamente en las regiones de Antofagasta y Magallanes.

Esta metodología es similar a la realizada en “*La revolución del hidrogeno verde y sus derivados en Magallanes*” (Givovich, Quiroz, & Schmidt-Hebbel, 2022), pero actualizando a nuevos proyectos anunciados, incorporando nueva información proporcionada por las mismas organizaciones dueñas de los proyectos y replicando también para la región de Antofagasta.



Los factores de empleabilidad utilizados en este trabajo corresponden a los propuestos en el trabajo de la consultora Hincio y GIZ titulado “*Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile*” (2020).

Las siguientes 2 tablas presentan los factores de empleabilidad asociados a las plantas generadoras de energía renovable y de producción de H2V, respectivamente.

Generación de energía [FTE/MW nominal de la planta]				
Tipo de energía	Etapa	Empleo directo (al año 2030)	Empleo directo (al año 2040)	Empleo directo (al año 2050)
Eólica	Construcción	3,41	3,36	3,32
	O & M ⁷	0,20	0,20	0,20
	Total	3,61	3,56	3,52
Solar	Construcción	1,86	1,67	1,48
	O & M	0,63	0,57	0,50
	Total	2,49	2,24	1,98

Fuente: Elaboración propia en base a GIZ & HINICIO (2020).

Producción [FTE/MW nominal del electrolizador]				
Producto	Etapa	Empleo directo (al año 2030)	Empleo directo (al año 2040)	Empleo directo (al año 2050)
H2V	Construcción	1,13	1,01	0,90
	O & M	0,53	0,47	0,42
	Total	1,65	1,48	1,31

Fuente: Elaboración propia en base a GIZ & HINICIO (2020).

Podemos apreciar que en todas las categorías, tanto de generación como de producción, los factores de empleabilidad asociados a la construcción son al menos el doble que aquellos relacionados a O & M, siendo estos últimos los empleos de carácter permanente.

Otro aspecto interesante sobre los factores de empleabilidad es que nos permiten concluir sobre las distintas dinámicas de empleo que posee cada tipo de fuente de energía, en donde la energía eólica es más intensiva en mano de obra durante su construcción, pero después, al pasar a labores de O & M, emplea menos de un tercio que la energía solar. Esto nos ayuda a tener una primera idea sobre cómo será la naturaleza del empleo en las regiones de Antofagasta y Magallanes.

Los factores de empleabilidad van disminuyendo a medida que pasan los años, en todas las categorías, ya que se asume un proceso de mayor automatización y conocimientos adquiridos que generan que menos personas se requieran para obtener los mismos outputs.

⁶ Se adaptan los factores para obtener los equivalentes de tiempo completo (FTE, por sus siglas en inglés). Un factor de empleabilidad de 1 FTE/MW quiere decir que por cada MW de capacidad se requiere de un trabajador a tiempo completo.

⁷ O & M hace referencia a labores de operación y mantenimiento.



Estos factores de empleabilidad serán cruzados con la información de capacidad nominal anunciada de los proyectos en las regiones de Antofagasta y Magallanes, específicamente con los MW de potencia nominal de las plantas generadoras y de los electrolizadores.

3.2 Empleo temporal

La amplia mayoría del empleo directo generado en la industria del H2V radica en su fase de temporal construcción e instalación/habilitación de las plantas generadoras, líneas de transmisión y de producción. Naturalmente, a medida que aumenta la magnitud de las plantas, más gente requieren.

Asociamos los trabajos de construcción con el empleo temporal porque, una vez finalizadas las obras, los empleados suelen trasladarse a otros lugares. Además, sus labores no requieren conocimientos específicos propios de H2V ya que las plantas de producción son muy similares a otras ya existentes.

Un aspecto para destacar del empleo relacionado a construcción es su dinámica, ya que cierto número de personas se requieren dependiendo cada etapa de la construcción, lo cual genera una curva de empleo temporal propia de cada proyecto. Esta curva de empleo propia de la construcción primero crece muy rápidamente hasta llegar al peak (momento en que más personas se requieren), para luego decrecer hasta llegar a 0 empleados (momento en que las obras finalizan).

Es necesario tener en cuenta que el utilizar factores de empleabilidad, por si solos, omite esta curva de empleo y resume toda la creación de empleo a un valor total que agrega todos los periodos⁸. Si quisiéramos estimar una curva de este tipo de empleo deberíamos realizar supuestos sobre los plazos de cada proyecto, además de identificar y estandarizar condiciones climáticas y de logística propias de cada uno, lo cual no será revisado en este trabajo.

Con todo lo anterior en mente, cuando realizamos el cruce de los factores de empleabilidad con los datos de cada uno de los proyectos, en las regiones de Antofagasta y Magallanes, obtenemos los siguientes resultados:

Creación de empleo temporal a nivel regional	Antofagasta	Magallanes
Construcción de planta generadora	35.316	103.249
Construcción de planta de producción	17.586	23.734
Total	52.902	126.983

Los proyectos de mayor escala individualmente se encuentran en la región de Magallanes, lo cual explica porque esta región presenta un mayor nivel de empleo en la construcción de las plantas de producción.

Por su parte, el empleo en construcción de plantas generadoras también es mayor en Magallanes, lo cual se explica por las diferencias de logística y magnitud propias de la habilitación e instalación de los parques eólicos con respecto a los paneles solares. La instalación de parques eólicos requiere preparar el terreno, construir los cimientos, movilizar las enormes aspas de los aerogeneradores y

⁸ Esto quiere decir, por ejemplo, que si un proyecto en t_1 requiere 3 empleados temporales, en t_2 requiere 6 y en t_3 requiere 1, el cálculo mediante factores de empleabilidad arrojará el total de todos los empleos temporales requeridos, los cuales en este ejemplo corresponden a 10.



realizar un montaje industrial completo para conectar todo a una misma red eléctrica. En contraste, la instalación de paneles solares es mucho más sencilla, ya que necesita menos preparación del terreno y su conexión es más simple.

Si bien estos números son meramente referenciales y omiten la dinámica propia de la construcción, ambas regiones apuntan a un contingente no menor de personas empleadas en construcción que deben ser alojadas, alimentadas y mantenidas, además de movilizadas a lugares remotos como en el caso de la región de Magallanes. Deben realizarse planes habilitantes que permitan contar con la infraestructura necesaria para soportar el gran número de trabajadores de la construcción en su peak y así evitar cuellos de botella logísticos que retrasen la puesta en marcha de los proyectos.

3.3 Empleo permanente

El desarrollo de la industria del H2V generará, además de los puestos de trabajo temporales, empleos permanentes asociados a la operación y mantenimiento (O&M) de plantas generadoras, electrolizadores y otras instalaciones productivas asociadas. Dado que el objetivo de este trabajo es identificar el potencial de empleo en la industria de H2V, el esfuerzo debe centrarse en cuantificar detalladamente este tipo de empleo.

A diferencia del empleo temporal asociado a construcción, la dinámica del empleo permanente crece de manera más lenta y después se estabiliza, lo cual se explica por el proceso paulatino de entrada en operación de los proyectos, alcanzándose el peak de trabajadores permanentes una vez que los proyectos se encuentran operando en su total capacidad.

Al realizar el cruce de los datos de potencia nominal con los factores de empleabilidad se obtendrá una representación sobreestimada de la creación de empleo permanente, ya que se está comparando con un estado de operación constante a total capacidad, lo cual es difícil que ocurra en la práctica.

Las plantas productivas no operan a su potencia nominal constantemente, lo cual hace que sus factores de planta⁹ sean muy inferiores al 100%. Los procedimientos de mantención, cierres programados o cualquier situación que implique reducir o detener la producción disminuirá la producción real que alcancen las plantas.

Por su parte, las plantas de generación eléctrica renovables presentan altos niveles de intermitencia, lo cual también disminuye los factores de planta que esta industria podrá alcanzar. En el [Anexo 8](#) se presenta una gráfica sobre la distribución del factor de planta horario de plantas de generación eólica y solar.

En lugares geográficos que presenten altos niveles de radiación solar, como lo es el norte de nuestro país, y haciendo uso de paneles que siguen la luz del sol se pueden alcanzar factores de planta en parques solares de hasta un 30% (Nuñez, 2015), mientras que en el resto del mundo los factores de planta típicos rondan los 10-20%, según fuentes no oficiales.

⁹ El factor de planta hace referencia a la proporción de output real alcanzado respecto al output potencial. Matemáticamente esto corresponde a $\frac{\text{Producción real}}{\text{Producción potencial}}$. Si una planta tiene una potencia nominal de 10 y se produce realmente 1, entonces su factor de planta es de 0,1 o 10%.



Con respecto a la energía eólica, los vientos en tierra de la región de Magallanes permiten alcanzar factores de planta momentáneos de más de 70% en su peak (Vukasovic, Messina, & Guzmán, 2023), con un promedio final de 50% (Induambiente, 2021). Estos factores de planta no existen en otros lugares del mundo (al menos en zonas aprovechables¹⁰ que permitan su utilización).

Con el objetivo de mejorar la precisión de nuestras estimaciones de empleo permanente, se ajustará la capacidad de generación y producción anunciadas de los proyectos con los siguientes ponderadores:

Tipo de fuente de generación eléctrica	Corrección por factor de planta promedio
Solar	0,3
Eólica	0,5

Esta corrección se basa en la lógica de que, si una planta no está conectada a la red, los valores de producción mediante electrólisis deben ajustarse según la intermitencia y condiciones propias de sus fuentes de energía eléctrica (impactando en los factores de planta), las cuales no permiten un funcionamiento constante y prolongado en la práctica.

Es por esto que, una vez cruzados los factores de empleabilidad con los datos de cada uno de los proyectos, debemos posteriormente ajustar por los factores de planta promedio recientemente mencionados.

Siguiendo este procedimiento obtenemos los siguientes valores para la creación de empleo permanente en las regiones de Antofagasta y Magallanes:

Creación de empleo permanente a nivel regional	Antofagasta	Magallanes
O & M en planta generadora	5.361	3.028
O & M en planta de producción	4.106	5.523
Total	9.467	8.551

Podemos notar que, si bien los proyectos de mayor magnitud se encuentran en la región de Magallanes, la región de Antofagasta es aquella que tendrá más trabajadores de carácter permanente, en caso de llevarse a cabo todos los proyectos anunciados a la fecha. Además, el principal componente de esta creación de trabajo se ubica en labores propias de la operación y mantenimiento de las plantas de generación eléctrica solar.

En su totalidad, la creación de empleo permanente en la región de Antofagasta tan solo corresponde a un 2,75% de las personas ocupadas¹¹ de la región, por lo cual no correspondería a un gran contingente laboral dentro de la región.

Por su parte, en la región de Magallanes la creación de empleo permanente será ligeramente menor, además de ubicarse principalmente en las labores propias de producción y no de generación. Este cambio en la matriz de labores propias del empleo generado se da producto de la utilización de fuentes

¹⁰ Algunos sectores del océano presentan vientos muy potentes y constantes, pero están tan alejados de la civilización que no pueden ser aprovechados.

¹¹ Con respecto al trimestre móvil FMA del presente año (Universidad Católica del Norte, 2024)



de energía de carácter eólico, las cuales poseen un menor factor de empleabilidad comparativamente menor al de la energía solar.

Respectivamente, el empleo de carácter permanente propio de la industria del H2V en Magallanes correspondería a casi un 9% del total de personas ocupadas de la región ¹², lo cual si corresponde a una proporción considerable dentro del mercado laboral de la región.

La naturaleza de las actividades de los empleados permanentes de la industria del H2V son muy similares a las de otras industrias ya establecidas, como por ejemplo las de producción química, manufactura, Oil & Gas, generación de energía, entre otras. Dada esta afinidad, las personas con formaciones en los sectores¹³ de “Ingeniería y Profesiones Afines”, “Arquitectura y Construcción” e “Industria y Producción” pueden darnos una primera impresión de cuáles serían las condiciones laborales de esta nueva industria. A todas las personas con formaciones en los sectores recién mencionados se les denominará personas con “*formaciones afines*”.

Según la CASEN 2022, las personas dentro de la categoría de formaciones afines son 63.202 en Antofagasta y 11.733 en Magallanes, lo cual nos permite señalar de que existe una magnitud de personal con formaciones afines que permitiría, en un principio, suplir la demanda de mano de obra propia de la industria de H2V en ambas regiones, aunque las fricciones propias del mercado laboral no necesariamente permiten asegurar que esto se cumplirá.

Si revisamos en profundidad este grupo de personas con formaciones afines para la región de Antofagasta (Magallanes), podemos notar que la edad promedio es de 36 años (41 años), tan solo el 20% es mujer (16%), 40% tiene estudios superiores a nivel universitario o mayor completados (44%) y tan solo el 7% se encuentra desempleado (3%).

Con respecto a los ingresos de este grupo, según la CASEN 2022, el sueldo mensual promedio de aquellos con formaciones afines en la región de Antofagasta es de un poco más de \$1.250.000 pesos chilenos, el cual se encuentra muy por sobre los \$794.000 pesos chilenos de ingreso mensual promedio de la región. Por su parte, en la región de Magallanes el sueldo mensual promedio de aquellos con formaciones afines alcanza \$1.165.000 pesos chilenos, también por sobre \$780.000 pesos chilenos de promedio regional.

Si hacemos el ejercicio de suponer que todas las personas empleadas de manera permanente en la industria del H2V ganan el sueldo promedio de aquellas personas con formaciones afines, los empleados de las regiones de Antofagasta y Magallanes implicarían ingresos para la población por más de 141.600 y 119.532 millones de pesos chilenos al año, respectivamente.

Dado que los ingresos de esta industria son mayores que el promedio regional, estos ingresos podrían suponer un aumento del GINI a nivel regional, pero a su vez significará mayor poder adquisitivo para las personas que se traduciría en mayor actividad y fomentaría otras actividades de manera indirecta, como por ejemplo aumento en las ventas de los supermercados, mayor frecuencia de salidas a restaurantes, entre otras.

Con respecto al consumo de aquellos empleados en la industria del H2V, la Encuesta de Presupuestos Familiares y el consumo de los hogares chilenos (EPF) publicada por el INE nos muestra que, en

¹² Con respecto al trimestre móvil FMA del presente año (INACAP, 2024).

¹³ Siguiendo la Clasificación Internacional Normalizada de Educación (CINE-F) presente en la CASEN 2022



promedio, las personas gastan un 82,1% de su sueldo mensual en consumo de bienes y servicios¹⁴ (INE, 2024). Si asumimos que todos aquellos empleados permanentes de esta industria mantienen un nivel de consumo igual al señalado anteriormente, los ingresos se traducirían en montos totales de consumo de 116.253 y 98.135 millones en las regiones de Antofagasta y Magallanes, respectivamente, que fomentarán el crecimiento económico de las regiones.

Si bien la metodología utilizada permite estimar el potencial de creación de empleo permanente de las plantas de H2V y sus respectivas fuentes de generación eléctrica renovable, existe todo un contingente de empleo que está siendo omitido. Específicamente, trabajos en infraestructura habilitadora relacionada a esta industria, como lo que pueden ser las líneas de transmisión, la construcción de puertos y/o caminos que permitan la conectividad de los proyectos, también representan un potencial de empleo considerable que no es posible de agregar a nuestras estimaciones.

El intentar realizar una estimación precisa y fundamentada de este contingente habilitador es complicado debido a la inmadurez de la industria del H2V. Por ejemplo, para cuantificar cuantas personas podrían estar empleadas en la construcción, operación y mantenimiento de las líneas de transmisión (tanto eléctricas como de hidrógeno) se requiere tener una dimensión precisa de cuantos kilómetros de línea se deberán utilizar, además de características propias de estas líneas, como por ejemplo si es que serán bajo tierra o mediante tendido eléctrico simple, que también afectan en las magnitudes de trabajadores que se requieren.

Otros potenciales focos de empleo derivados de la industria de H2V, como por ejemplo aumento en el empleo propio de empresas de maquinarias para la construcción, servicios de almacenamiento y logística, servicios de consultoría, entre otros, presentan las mismas complicaciones que las recientemente mencionadas.

Adicionalmente, las estimaciones de empleo de esta industria son muy sensibles a la demanda real que enfrentará el H2V y sus derivados. Dado que esta industria está en sus etapas iniciales a nivel mundial, cualquier cambio en las expectativas sobre la adopción del H2V en los mercados clave, tanto nacionales como internacionales, puede alterar sustancialmente las características de los proyectos y, finalmente, impactar en la cantidad de personas que emplearán.

En el caso que nuevas tecnologías aprovechen de mejor manera los productos provenientes del H2V, es razonable asumir que los proyectos tendrían incentivos a aumentar sus capacidades y la cantidad de empleados que requerirían. Pero, en el caso contrario de que no se creen dichas tecnologías o de que se invente algún sustituto más competitivo, los proyectos estarían fuertemente presionados a disminuir su escala, lo cual impactaría negativamente en el número de empleados.

En resumen, el desarrollo del H2V en Chile tiene un potencial significativo para la creación de empleo permanente en las plantas de energía renovable y de producción de hidrógeno, especialmente en las regiones de Antofagasta y Magallanes. Con la proyección de 9.467 empleos permanentes en Antofagasta (2,75% de los ocupados), y 8.551 empleos en Magallanes (8,9% de los ocupados), es evidente que el impacto en Magallanes será particularmente notable.

Esta diferencia subraya la relevancia que el hidrógeno verde podría tener en la revitalización económica de Magallanes, transformándola en un eje central de esta nueva industria en el país y el

¹⁴ Excluyendo servicios esenciales como vivienda, agua, electricidad, gas y otros combustibles y servicios de educación.



mundo, mientras que la región de Antofagasta no se verá tan fuertemente impactada por esta industria, relativamente hablando.

Si bien la creación total de poco más de 18 mil trabajadores permanentes parece un número elevado, la verdad es que se mantiene muy por debajo de otras industrias importantes a nivel nacional como la minería o la agricultura.

Es importante que las autoridades transparenten la realidad del H2V, el cual puede llegar a ser un motor de crecimiento económico importante para las regiones de Antofagasta y Magallanes (especialmente), pero este crecimiento no significará un aumento muy significativo del empleo. Además de que los números de nuevos empleos no son muy elevados, la naturaleza de estos mismos tampoco es novedosa o especial, ya que son labores muy similares a otras relacionadas a la generación de energía y de producción industrial química.



Capítulo 4: Empleo indirecto

Como vimos en el capítulo anterior, al cruzar la capacidad informada por los proyectos con los factores de empleabilidad, obtenemos una estimación de más de 150 mil trabajadores temporales directamente involucrados en la construcción y habilitación de plantas de producción de H2V o de las plantas de generación eléctrica renovable necesaria para la electrólisis.

En una escala mucho menor, el empleo permanente asociado a la operación y mantenimiento de los componentes propios de las plantas de generación y producción alcanza poco más de 18 mil trabajadores.

Si bien esta magnitud estimada anteriormente nos permite tener una noción bastante acertada de cuál sería el escenario central de la cantidad de personas que estarían empleadas directamente en la industria del H2V, existe un gran componente de personas empleadas en actividades relacionadas a esta industria, por ejemplo en ocupaciones relacionadas a personal de aseo, supermercados, subcontratistas, casinos de comida u otros, que también se verían favorecidas en el caso de que los proyectos se lleven a cabo.

Formalmente, el empleo indirecto de la industria de H2V alude al empleo creado entre proveedores de actividades propias de la industria o como consecuencia directa de esta (ManpowerGroup, 2024). De esta manera, el empleo indirecto incluye a los potenciales trabajos generados en las cadenas de suministro y servicios relacionados, como la producción de componentes, logística, mantenimiento y consultoría, entre otros que son esenciales para el desarrollo y operación de la industria.

Incorporar el empleo indirecto en las estimaciones del potencial de empleo de la industria del hidrógeno verde es fundamental porque permite obtener una visión más completa del impacto económico de esta industria. Si tan solo se considerara el empleo directo se estaría subestimando el verdadero alcance de la contribución del H2V en el mercado laboral de las regiones.

Afortunadamente, la metodología para agregar el empleo indirecto al potencial de empleo de la industria es relativamente simple. Diversos estudios logran estimar el empleo indirecto por medio de un multiplicador del empleo directo creado (IDAE, 2011), el cual establece una relación/razón entre el empleo directo creado y aquel empleo extra que se ve fomentado por la actividad agregada que se genera (indirecto).

Teniendo en cuenta lo anterior, podemos realizar un par de supuestos simples que permiten incorporar el potencial de empleo indirecto por medio de escenarios. En un escenario pesimista, la actividad económica generada por los empleados de esta industria permite la creación de un empleado indirecto por cada empleado directo (relación de 1:1), mientras que un escenario optimista representaría el caso en que la actividad generada por el empleo directo tiene un mayor impacto agregado en la población, logrando crear dos empleos indirectos por cada empleo directo (relación de 2:1).

Al incorporar estas supuestos al potencial de empleo directo de los proyectos anunciados, tanto a nivel de generación de energía como a nivel de producción, obtenemos que la industria del H2V en un escenario pesimista permitirá la creación de 9.467 empleos indirectos en Antofagasta, mientras que en la región de Magallanes el potencial de empleo indirecto sería de 8.551. En el caso de un escenario optimista, el potencial de empleo indirecto de la región de Antofagasta asciende a 18.934 y 17.102 en Magallanes (para mayor detalle revisar [Anexo 9](#)).



Si bien los empleos creados de manera indirecta no necesariamente tendrán las mismas condiciones que su contraparte directa, de igual manera todas las ocupaciones fomentadas indirectamente por esta industria contribuyen a la creación de nuevas oportunidades para la población, generando un efecto de “*spill-over*” que impulsa un desarrollo económico que beneficia de manera general a la población, logrando incluso impactos más allá del nivel regional.

Es importante destacar que todo el componente de empleo en infraestructura habilitadora que no es posible agregar a nuestras estimaciones (tal como se señaló en el capítulo anterior) también trae consigo impactos generales en la economía que permiten la aparición de nuevos puestos de trabajo de manera indirecta, por lo que las estimaciones de este capítulo también se encuentran subestimadas al omitir dicho contingente de empleo directo.

Finalmente, incorporando tanto el empleo directo como el indirecto, la puesta en marcha de los proyectos de H2V permitirá la creación de entre 18.934 y 28.401 empleos permanentes en la región de Antofagasta, mientras que en la región de Magallanes esta magnitud rondará entre los 17.102 y 25.653 empleos.

De esta manera, siguiendo un escenario pesimista, el número total de empleados alcanzaría poco más de 36 mil personas, representando el 5,5% y 17,6% de los ocupados de las regiones de Antofagasta y Magallanes, respectivamente. Por su parte, en un escenario optimista, el impacto del H2V en el mercado laboral chileno se traduciría en la creación de más de 54 mil empleos, representando aproximadamente el 8,3% de los ocupados en Antofagasta y más del 26% de los ocupados de la región de Magallanes.

Si bien al contabilizar tanto el empleo directo como el indirecto podemos obtener ordenes de magnitud precisos sobre el potencial de creación de empleo, de igual manera los valores estimados se encuentran muy por debajo de los prometidos en la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde. Es importante realizar esfuerzos para comunicar de manera clara el gran potencial de empleo que esta innovadora industria representa para Chile, pero siempre entregando cifras precisas y respaldadas por datos que permitan realizar un correcto manejo de las expectativas.



Capítulo 5: Conclusiones

El potencial de Chile para beneficiarse del hidrógeno verde es enorme, ya que posee una de las radiaciones solares más fuertes del mundo en la zona norte y vientos en la zona sur que alcanzan velocidades constantes que no se ven en otras partes del mundo (al menos en tierra firme). Estas condiciones climatológicas excepcionalmente favorables permiten alcanzar los mayores factores de planta solares y eólicas a nivel mundial.

Si bien el futuro de esta industria es brillante, en la actualidad todavía existe mucha incertidumbre a nivel nacional con respecto al avance de los proyectos. La estrategia nacional del hidrógeno, publicada en 2020, menciona enormes beneficios que esta industria traerá al país, como por ejemplo la creación de 100.000 nuevos empleos.

El objetivo de este AFE es realizar una estimación del empleo directo que el desarrollo de la industria de hidrógeno verde tendrá en el país. Al basarse en las características propias de cada proyecto anunciado, específicamente tipo(s) de fuente(s) de energía y potencial nominal de electrolisis, podemos obtener una estimación fundamentada en lo que se está haciendo y no en lo que “*podría ser*”.

Se hizo una recopilación de los 67 proyectos de H2V anunciados en Chile a la fecha, los cuales se encuentran principalmente ubicados en las regiones de Magallanes y Antofagasta, producto de las características mencionadas anteriormente.

Estas 2 regiones abarcan más del 99% de la producción estimada de H2V a nivel nacional y, por lo tanto, fueron analizadas individualmente (dejando fuera del análisis a las otras regiones).

En Antofagasta, la principal fuente de energía renovable para los proyectos de hidrógeno verde es la energía solar fotovoltaica (PV), la cual es la fuente de energía que mayor factor de empleabilidad posee. En esta región, más de 9 mil personas podrían encontrar empleo permanente en alguno de los proyectos anunciado de hidrógeno verde, aunque la gran mayoría no trabajará en la producción de hidrógeno en sí, sino que en las plantas de energía solar.

Situación similar ocurre en la región de Magallanes, en donde la principal fuente de energía renovable provendrá de aerogeneradores en parques eólicos. Si bien los proyectos de mayor magnitud individual del país se encuentran en esta región (según potencial nominal de electrolisis), el bajo factor de empleabilidad propio de la energía eólica genera que menos personas puedan trabajar. Específicamente, un poco más de 8.500 empleos permanentes serán generados en esta región, concentrados principalmente en labores de producción de H2V y no en generación eléctrica, a diferencia de la región de Antofagasta.

Estos números fueron estimados en base al potencial nominal de electrolisis anunciados en cada uno de los proyectos, lo cual nos permite darnos una idea de cuantas personas emplearían en el caso de que todos los proyectos fueran aprobados y empezaran a operar inmediatamente, a plena capacidad y sin interrupciones. Posterior a esto se realizó una corrección relajando el supuesto de funcionamiento a capacidad máxima, aplicando factores de capacidad a nuestra producción de energía.

A su vez, la creación de empleo directo en las regiones de Antofagasta y Magallanes resultará en un incremento del poder adquisitivo de las personas de dichas regiones, lo que se reflejará en un aumento de la actividad económica y estimulará indirectamente otras áreas, como por ejemplo crecimiento en



las ventas de los supermercados, mayor frecuencia de visitas a restaurantes, entre otras que fomentarán la creación de empleo de carácter indirecto. Si incorporamos también los efectos de creación de empleo indirecto a nuestras estimaciones obtenemos niveles totales de empleabilidad que casi duplican los netamente propios de empleo directo.

Finalmente, agregando tanto el potencial de empleo directo como el indirecto, el total de creación de empleo regional de la industria de H2V alcanzaría entre 18.934 y 28.401 empleos en Antofagasta, mientras que en Magallanes se alcanzarían entre 17.102 y 25.653 empleos, lo cual dejaría un saldo entre 36 y 54 mil empleos permanentes a nivel nacional.

Si bien este número es sumamente significativo, especialmente para la región de Magallanes, de igual manera representa al menos un 46% menos de lo prometido, además de no representar mejoras relevantes en las condiciones propias del empleo, a excepción de posibles sueldos mayores a la media regional.

Si bien es necesario fomentar la industria del hidrógeno verde como un eje clave para lograr combatir efectivamente el cambio climático, es importante dar mensajes claros y con fundamentos para evitar elevar artificialmente las expectativas.

El hidrogeno verde podría traer enormes beneficios económicos para nuestro país, pero si queremos referirnos a su potencial de creación de empleo directo, los beneficios dejan de ser tan excepcionales cuando se los lleva a la realidad. Hablar de empleo en hidrógeno verde es en realidad hablar de empleo en plantas de energía renovable y de producción química, por lo debe ser presentado como tal.

Las estimaciones realizadas en este trabajo se encuentran limitadas por la información disponible en fuentes públicas de los proyectos, la cual puede ir modificándose a medida que los proyectos avancen. Por otro lado, en este trabajo se buscó cuantificar el potencial de empleo de carácter directo, dejando de lado el enorme potencial de empleo indirecto que posee la totalidad de la cadena de valor del H2V en el país.

Futuros trabajos podrían enfocarse en intentar cuantificar todo el potencial de empleo propio de la infraestructura habilitantes que la industria del H2V requiere, además de incorporar los efectos indirectos e inducido del mismo. Además, a medida que los proyectos vayan concretizándose será posible incorporar de mejor manera los aspectos técnicos propios de cada proyecto, como por ejemplo tipos de electrolizadores que utilizarán, magnitudes exactas de los aerogeneradores, superficie cubierta por paneles solares de cierto tipo, entre otros que permitirán obtener estimaciones más precisas y menos dependientes de supuestos.



Bibliografía

- ACCIONA. (2024). *Sostenibilidad para todos: ¿Cómo funciona un aerogenerador?* Sostenibilidad - ACCIONA. Obtenido de https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/como-funciona-un-aerogenerador/?_adin=02021864894
- AE. (2021). *Hidrógeno verde en México: el potencial de la transformación*. Alianza Energética entre México y Alemania (AE). Obtenido de https://www.linde.mx/-/media/corporate/praxair-mexico/documents/hidrgeno_ae_tomo_i.pdf?la=es-mx
- Browne, V. (20 de Agosto de 2023). Permisología: Estudios de impacto ambiental de proyectos de inversión están demorando en promedio 1.433 días (4 años). *EX-ANTE*. Obtenido de <https://www.ex-ante.cl/permisologia-estudios-de-impacto-ambiental-de-proyectos-de-inversion-estan-demorando-en-promedio-1-433-dias-4-anos/>
- BuscaEspacio. (Sin Fecha). *Cálculo de paneles solares para una casa*. Obtenido de <https://buscaespacio.cl/calculo-de-paneles-solares-para-una-casa/>
- BWMI. (2020). *The National Hydrogen Strategy*. Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. Obtenido de https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- CASEN. (2022). *Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional*. Obtenido de <https://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/encuesta-casen-2022>
- Centro Nacional del Hidrógeno. (20 de Mayo de 2024). *Centro Nacional del Hidrógeno*. Obtenido de <https://www.cnh2.es/el-hidrogeno/>
- ChileValora. (2023). *Ficha del perfil ocupacional: MANTENEDOR(A) EN PLANTA DE HIDRÓGENO*. Obtenido de https://certificacion.chilevalora.cl/ChileValora-publica/perfilesEdit.html?paramRequest=2041&bsearch=&bsector=20&bsubsector=35&barea=315&bcentro=-1&bperfil=-1&resultados_length=10
- ChileValora. (2023). *Ficha del perfil ocupacional: OPERADOR(A) EN PLANTA DE HIDRÓGENO*. Obtenido de https://certificacion.chilevalora.cl/ChileValora-publica/perfilesEdit.html?paramRequest=2040&bsearch=&bsector=20&bsubsector=35&barea=315&bcentro=-1&bperfil=-1&resultados_length=10
- ChileValora. (2023). *Ficha del perfil ocupacional: SUPERVISOR(A) EN PLANTA DE HIDRÓGENO*. Obtenido de https://certificacion.chilevalora.cl/ChileValora-publica/perfilesEdit.html?paramRequest=2042&bsearch=&bsector=20&bsubsector=35&barea=315&bcentro=-1&bperfil=-1&resultados_length=10
- Dote, S. (07 de Agosto de 2024). La siderúrgica Huachipato vuelve a suspender sus operaciones y deja en vilo a la industria del acero chileno. *El País*. Obtenido de <https://elpais.com/chile/2024-08-07/la-siderurgica-huachipato-vuelve-a-suspender-sus-operaciones-y-deja-en-vilo-a-la-industria-del-acero-chileno.html>



- Fúnez Guerra, C., & Reyez-Bozo, L. (2019). *El Hidrógeno como Vector Energético: Pieza Clave en la Descontaminación de la Economía Chilena*. Universidad Autónoma de Chile , Centro de Comunicación de las Ciencias |. Obtenido de <https://repositorio.uautonoma.cl/bitstream/handle/20.500.12728/3191/Hidrogeno.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Generadoras de Chile. (2024). *Energía Eólica*. Asociación de Generadoras de Chile. Obtenido de <https://generadoras.cl/tipos-energia/energia-eolica>
- Generadoras de Chile. (2024). *Energía Solar*. Asociación de Generadoras de Chile. Obtenido de [generadoras: https://generadoras.cl/tipos-energia/energia-solar](https://generadoras.cl/tipos-energia/energia-solar)
- Givovich, F., Quiroz, J., & Schmidt-Hebbel, K. (2022). *La revolución del hidrogeno verde y sus derivados en Magallanes* (Primera ed.). El Libero.
- GIZ, & HINICIO Chile. (2020). *Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile*. Obtenido de <https://4echile.cl/wp-content/uploads/2021/09/Encadenamiento-Reporte-Final.pdf>
- H2 Chile. (01 de Marzo de 2024). *H2 Chile Mapa Proyectos*. Obtenido de <https://h2chile.cl/mapa-de-proyectos/>
- IDAE. (2011). *Empleo Asociado Al Impulso De Las Energías Renovables. Estudio Técnico Periodo 2011-2020*. Madrid. Obtenido de https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_s_11227_e5_empleo_a_08df7cbc.pdf#page=78&zoom=100,0,0
- IEA. (2018). *Average annual capacity factors by technology*,. Obtenido de <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-annual-capacity-factors-by-technology-2018>
- IEA. (2019). *The future of hydrogen: Seizing today's opportunities*. Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32538/1/BCN___Hidrogeno_verde_Costos_de_produccion_Sept21.pdf
- IEA. (2023). *Global Hydrogen Review 2023*. Obtenido de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ecdfc3bb-d212-4a4c-9ff7-6ce5b1e19cef/GlobalHydrogenReview2023.pdf>
- INACAP. (2024). *Termómetro Laboral Magallanes*. Obtenido de <https://www.subtrab.gob.cl/wp-content/uploads/2024/06/Termometro-Laboral-Region-de-Magallanes.pdf>
- Induambiente. (12 de Marzo de 2021). *Magallanes podría producir el 13% hidrógeno verde del mundo con energía eólica*. *InduAmbiente*. Obtenido de <https://www.induambiente.com/actualidad/noticias/magallanes-podria-producir-el-13-hidrogeno-verde-del-mundo-con-energia-eolica>



- INE. (2024). *IX Encuesta de Presupuestos Familiares y el consumo de los hogares chilenos*. Obtenido de <https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/conferencias/encuesta-de-presupuestos-familiares/conferencia-ix-encuesta-de-presupuesto-familiar-y-consumo-de-hogares.pdf>
- IRENA. (2022). *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*. International Renewable Energy Agency, Abu Dabi, EAU. doi:978-92-9260-370-0
- Kilner, J. (2022). *Métodos de Producción de Hidrógeno y sus Colores*. CIC energigUNE. Obtenido de <https://cicenergigune.com/es/blog/metodos-produccion-hidrogeno-colores>
- ManpowerGroup. (2024). *LAS MOLÉCULAS VERDES: LA INMINENTE REVOLUCIÓN DEL MERCADO DEL EMPLEO EN EUROPA*. Madrid. Obtenido de https://www.cepsa.com/stfls/corporativo/FICHEROS/moleculas-verdes-la-inminente-revolucion-del-mercado-del-empleo-en-europa_informe.pdf
- Ministerio de Energía. (2020). *Estrategia Nacional Hidrógeno Verde*. Obtenido de https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_hidrogeno_verde_-_chile.pdf
- Ministerio de Energía. (2021). *Identificación de Potenciales Renovables: Caso Eólico*. Unidad de Gestión de Información, División Energías Sostenibles. Obtenido de https://exploradores.minenergia.cl/portal-ernc/websites/Magallanes_White_Paper_Edicion_Feb20.pdf
- Nieto Gallego, E. (2018). *Obtención y aplicaciones del hidrógeno*. Asociación Española del Hidrógeno. Obtenido de <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/10/2018-01-17-Obtencion-y-aplicaciones-del-hidrogeno-CENTRO-NACIONAL-DEL-HIDROGENO-fenercom.pdf>
- Nuñez, I. (2015). *Generación eólica y solar fotovoltaica: ¿Qué tan variables son?* Breves de Energía. Obtenido de <https://www.brevesdeenergia.com/wp-content/uploads/2015-02-24-generacion-eolica-y-solar-fotovoltaica-que-tan-variables-son.pdf>
- OIT. (2013). *Methodologies for assessing green jobs*. Obtenido de https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_emp/@emp_ent/documents/publication/wcms_176462.pdf
- Troncoso, F. (Julio-Agosto de 2021). Claves del Hidrógeno Verde. *InduAmbiente*, 28-31. Obtenido de <https://www.induambiente.com/informe-tecnico/calderas/claves-del-hidrogeno-verde>
- TÜV Rheinland. (2024). *Hidrógeno verde: Un vector energético con grandes perspectivas de futuro*. Obtenido de <https://www.tuv.com/landingpage/es/hydrogen-technology/main-navigation/allgemein/>



UCU. (2022). *Monitor Hidrógeno Verde*. Universidad Católica del Uruguay , Observatorio de Energía y Desarrollo Sustentable. Obtenido de <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/uy/undp-uy-Monitor-Hidrogeno-Verde-2022.pdf>

Universidad Católica del Norte. (2024). *Termómetro Laboral de Antofagasta*. Obtenido de <https://www.subtrab.gob.cl/wp-content/uploads/2024/06/Termometro-Laboral-Region-de-Antofagasta.pdf>

Vukasovic, V., Messina, D., & Guzmán, R. (2023). *Encadenamientos Productivos de la Industria del Hidrógeno Verde y Derivados en Magallanes y la Antártica Chilena: Perspectivas, Desafíos y Oportunidades*. International PtX Hub & GIZ. Obtenido de <https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2024/01/Encadenamientos-productivos-de-la-industria-del-hidrogeno-verde-y-derivados-en-Magallanes-y-la-Antartica-chilena.pdf>



ANEXOS

Anexo 1

Color del Hidrógeno	Fuente de Energía	Materia Prima	Tecnología de Producción
Gris	Combustibles fósiles	Metano / Carbón	Reformado de metano a vapor / Gasificación
Azul	Combustibles fósiles	Metano / Carbón	Reformado de metano a vapor con captura de carbono / Gasificación de carbón con captura de carbono
Turquesa	Energía renovable o carbono neutral	Metano o Biometano	Pirólisis
Rosa	Energía nuclear	Agua	Electrólisis acoplada con los sistemas de refrigeración de reactores nucleares
Verde	Energía renovable	Agua	Electrólisis

Fuente: Obtenido de la Estrategia Nacional del Hidrógeno de Alemania 2020.



Anexo 2

Estado del Proyecto	Total de proyectos en cada estado
Sin Información ¹⁵	6
Prefactibilidad	27
Factibilidad	18
Evaluación Ambiental	8
Construcción	2
Operativo	6
Total	67

Fuente: Elaboración propia con datos de H2 Chile.

¹⁵ Algunos proyectos, si bien se encuentran anunciados oficialmente, no han reportado correctamente su estado de avance.



Anexo 3

Estado del Proyecto	Potencial Nominal de electrólisis agregado en cada estado (MW)	Producción Anual Estimada de H2V agregada en cada estado (toneladas al año)
Prefactibilidad	9.558	831.198
Factibilidad	20.887	1.922.545
Evaluación Ambiental	4.466	136.330
Construcción	0,0072	3
Operativo	28	50
Sin información	2.183	170.143
Total	26,9	3.060.270

Fuente: Elaboración propia con datos de H2 Chile.



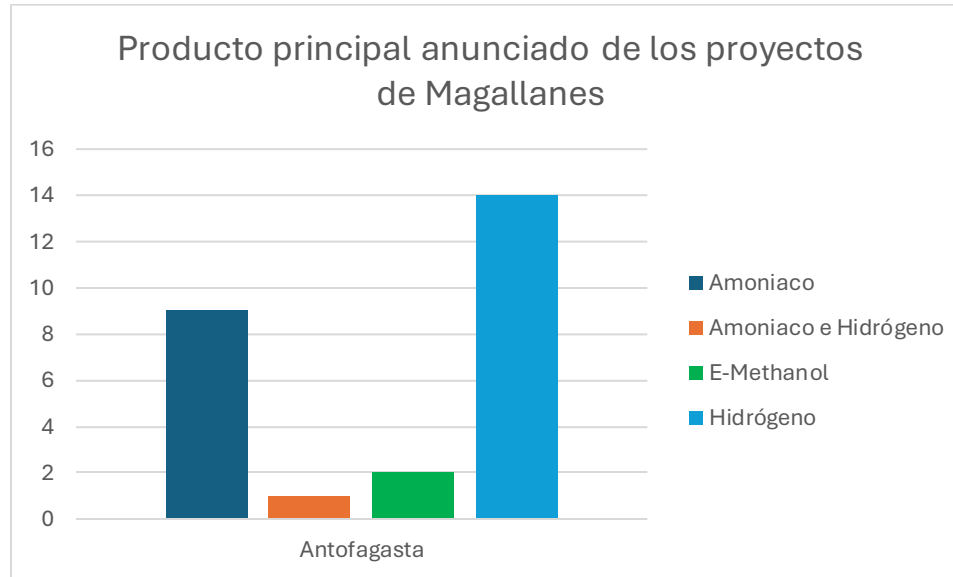
Anexo 4

Región	N° de proyectos anunciados	Producción Agregada Anual Estimada de H2V (toneladas) de cada región
Antofagasta	26	1.233.797
Coquimbo	1	36
Valparaíso	3	12.530
Metropolitana	5	11
Ñuble	1	416
Biobío	4	3.660
Aysén	2	939
Magallanes	12	1.808.880
Total	54	3.060.270

Fuente: Elaboración propia con datos de H2 Chile.



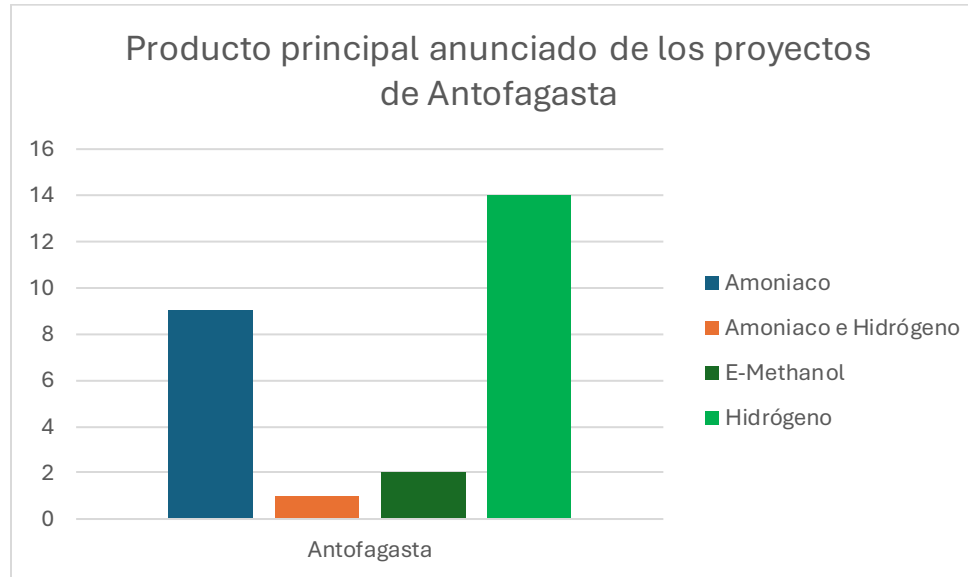
Anexo 5



Fuente: Elaboración propia con datos de H2 Chile.



Anexo 6



Fuente: Elaboración propia con datos de H2 Chile.



Anexo 7

Multiplicadores [Trabajadores por GWh ¹⁶]	
Biomasa	0,84
Geotérmica	0,65
Solar FV	5,36
Solar Térmica	1,5
Eólica	0,84
Hidroeléctrica	0,49
Nuclear	0,22
Gas y petróleo	0,03
Carbón	0,3
Promedio (sin Solar FV)	0,61

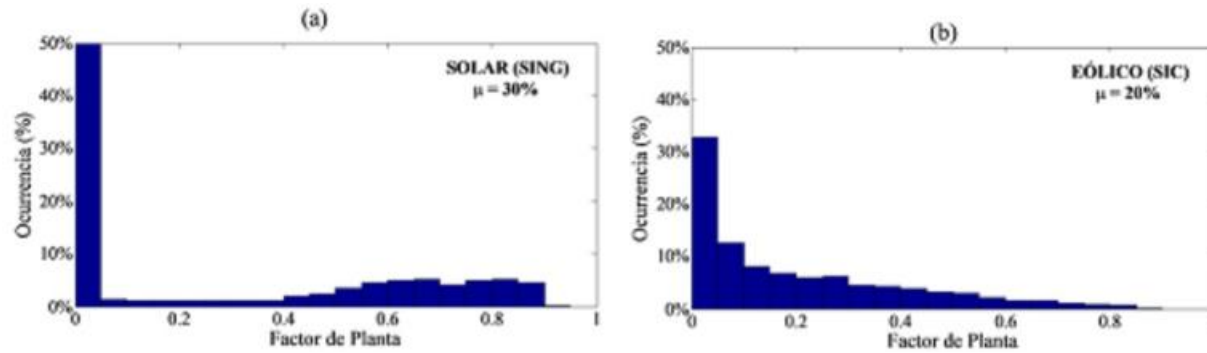
Fuente: Elaboración propia en base a “Methodologies for assessing green jobs” (OIT, 2013).

¹⁶ GWh corresponde a Giga Watts por Hora producidos. Esta medida realiza una estandarización con respecto al tiempo, ya que de lo contrario sería difícil comparar plantas que produzcan 1 GW en 24 horas con una que produzca 1 GW en 2 horas (por ejemplo).



Anexo 8

La figura muestra la distribución del factor de planta horario de la generación solar fotovoltaica simulada del SING en 2011 (a) y generación eólica del SIC en 2013 (b).



Fuente: Obtenido de “Generación eólica y solar fotovoltaica: ¿Qué tan variables son?” (Nuñez, 2015).



3Anexo 9

Creación de empleo a nivel regional (Escenario Pesimista)	Antofagasta	Magallanes	Creación de empleo a nivel regional (Escenario Optimista)	Antofagasta	Magallanes
Empleo indirecto derivado de la generación	5.361	3.028	Empleo indirecto derivado de la generación	10.722	6.056
Empleo indirecto derivado de la producción	4.106	5.523	Empleo indirecto derivado de la producción	8.212	11.046
Total de empleo indirecto	9.467	8.551	Total de empleo indirecto	18.934	17.102
Total de empleo creado (directo + indirecto)	18.934	17.102	Total de empleo creado (directo + indirecto)	28.401	25.653