

El Hidrógeno Verde En Chile Y Sus Implicaciones Para La Transición Energética En Colombia

Carlos Andrés Pinzón Barbosa

Trabajo de aplicación presentado para optar al título de Magíster en Gerencia de Negocios -  
MBA

Director

Orlando Enrique Contreras Pacheco

*PhD in Management*

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela De Estudios Industriales Y Empresariales

Maestría En Gerencia De Negocios

2025

## Tabla de Contenido

Lista De Tablas.....	V
Lista De Ilustraciones .....	VI
Lista De Apéndices .....	VII
Glosario.....	VIII
Resumen.....	XII
Abstract .....	XIII
Introducción .....	14
Objetivos.....	18
Objetivo General.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Chi Chi Chi – Le Le Le.....	19
Los Números Macroeconómicos .....	19
H2V ¿Se Puede Lograr En Chile? .....	22
No Todo es el Dinero.. .....	23
Chile Despliega su Estrategia.. .....	26
Impuestos Verdes .....	26
Mecanismo de cuotas: un incentivo pendiente .....	27
Corporación del Fomento a la Producción.....	29
¿Y la Tierrita Qué?.....	31

El Ejemplo se da en Casa.....	33
Haciendo Introspección Energética .....	37
Hacia Donde Deberá Mirar Chile .....	39
Estando a Punto.....	41
Saber Gobernar, es Saber Elegir .....	43
Seguimos el mismo camino. ....	43
Diferencias en los Informes .....	44
¿Qué hay de nuevo, viejo? .....	45
Hidrógeno Verde En El Mundo.....	47
Alemania.....	47
Australia.....	51
Canadá.....	53
Japón .....	56
Estrategias Nacionales de Competitividad.....	58
Sí, Sí, Sí, Colombia.....	59
¿Y Cómo Es La Energía En Colombia?.....	59
¡Todos Caben!.....	61
Impuesto al Carbono .....	62
¿Por Qué no hay Cuotas Aún? .....	63
¿Y la Platica Qué?.....	63

¿Dónde Ubicamos Los Proyectos? .....	65
Según el Sol .....	65
Según el Viento .....	66
Potencial HUB Hidrógeno Verde en Colombia .....	67
En la Guajira Excepcional .....	67
Cartagena, Garantía de futuro .....	68
En Colombia, ¿Quién Necesita el Hidrógeno Verde? .....	69
Y ¿Cómo Vamos?.....	70
Chile y Colombia .....	73
Frente a Frente .....	73
Chile Allanoó el Camino.....	74
Conclusiones.....	76
Referencias.....	81

## Lista De Tablas

Tabla 1. Partes interesadas H <sub>2</sub> V Chile: posiciones y roles.....	24
Tabla 2. Instrumentos de Fomento CORFO (Ministerio de Energía (Chile), 2024).....	29
Tabla 3. Hidrógeno Verde, Un proceso Participativo (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2021) .....	61
Tabla 4. Top 10 de las ciudades con mayor horas sol promedio interanual día.....	66
Tabla 5. Comparativo de las Estrategias de Hidrógeno Verde entre Chile y Colombia ...	73

## Lista De Ilustraciones

Ilustración 1. Convergencia del PIB per cápita, precios corrientes, USD, PPA, % del promedio de la OCDE.....	20
Ilustración 2. Balanza Comercial Chilena (millones de USD) (Banco Central de Chile, 2024) .....	21
Ilustración 3. Índices de Precios al Consumidor - Chile (Banco Central de Chile, 2024)	22
Ilustración 4. Composición de la oferta de energía primaria por energético en Tcal.....	38
Ilustración 5. Composición del consumo final por sector en Tcal .....	39
Ilustración 6. Demanda global de Hidrógeno en un escenario de emisiones cero.....	40
Ilustración 7. Proyectos de Hidrógeno Verde por fase de cadena de abastecimiento .....	72

## Lista De Apéndices

Los apéndices se encuentran adjuntos y se pueden descargar del Repositorio Institucional

Apéndice A - Consumo de Energía por Sector (TJ) – 2023

Apéndice B - Demanda proyectada de hidrógeno para un escenario cero emisiones

Apéndice C - Irradiación global media recibida en una superficie horizontal durante el día, promedio anual multianual (kWh-m<sup>2</sup> por día)

Apéndice D - Densidad anual de energía eólica a 80 m de altura

Apéndice E - Promedios mensuales de brillo solar para todas las estaciones del país (horas de sol al día)

## Glosario

**Amoníaco Verde ( $\text{NH}_3\text{-V}$ ):** compuesto químico obtenido a partir de hidrógeno verde y nitrógeno, sin emplear combustibles fósiles en el proceso.

**Balanza Comercial:** diferencia entre el valor de las exportaciones y de las importaciones de bienes y servicios de un país.

**Blending (Mezcla en Redes de Gas):** es la combinación de dos o más gases en proporciones específicas para obtener una mezcla con propiedades determinadas. En el caso de las redes de gas, se utiliza para mezclar hidrógeno con gas natural.

**Carbono Neutro:** es un término que se refiere a un balance entre las emisiones de carbono y las acciones que se toman para compensarlas. El objetivo es reducir el impacto ambiental y contribuir a mitigar el cambio climático.

**Celda o Pila de Combustible:** es un dispositivo electroquímico que transforma de forma directa la energía química en eléctrica. Parte de un combustible (generalmente hidrógeno) y de un comburente (en muchos casos oxígeno) para producir agua, electricidad en forma de corriente continua y calor.

**Competitividad Energética:** la competitividad energética es la capacidad de un país para generar y utilizar energía de manera eficiente y sostenible, lo que permite a las empresas ser más competitivas.

**CONPES (Consejo Nacional de Política Económica y Social, Colombia):** es la máxima autoridad de planeación de Colombia. Es el principal órgano asesor del Gobierno en materia de desarrollo social y económico.

**CORFO (Corporación de Fomento de la Producción):** es la agencia del Gobierno de Chile, organismo de ámbito multisectorial, encargado del fomento de la producción nacional y promotora del crecimiento económico regional.

**Cuotas de Hidrógeno:** mecanismo de política pública que obliga a incorporar un porcentaje mínimo de hidrógeno (verde u otras variedades de bajas emisiones) en determinados sectores (transporte, redes de gas, industrias) para acelerar su adopción.

**Descarbonización:** proceso o conjunto de medidas destinadas a disminuir la dependencia de combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en múltiples sectores (transporte, generación eléctrica, industria, entre otros).

**Electrólisis:** proceso que separa los elementos de un compuesto químico mediante la aplicación de corriente eléctrica. La electrolisis puede separar el agua ( $H_2O$ ) en hidrógeno ( $H_2$ ) y oxígeno ( $O_2$ ) aplicando corriente eléctrica.

**Energías Renovables No Convencionales (ERNC):** fuentes de energía limpias y que sustituyen a los combustibles fósiles. Incluyen la solar, eólica, geotérmica, biomasa, entre otras, con bajo impacto ambiental.

**Estrategia Nacional de Hidrógeno:** plan de un país que define metas, incentivos, marcos regulatorios y líneas de financiamiento para impulsar la producción, uso y exportación de hidrógeno de bajas o cero emisiones, contribuyendo a la transición energética.

**Fertilizantes Verdes:** productos que utilizan amoníaco o hidrógeno de origen renovable en su proceso de fabricación. Permiten reducir la huella de carbono de la agricultura y contribuir a la sostenibilidad de la cadena de producción de alimentos.

**Hidrógeno Verde (H<sub>2</sub>V):** hidrógeno producido a partir de la electrólisis del agua utilizando electricidad exclusivamente proveniente de fuentes renovables (solar, eólica, hidráulica). No genera emisiones de CO<sub>2</sub> durante su obtención.

**HUB de Hidrógeno:** es un ecosistema que permite la producción, almacenamiento, distribución y transporte de hidrógeno. Se trata de una infraestructura que se desarrolla en una ubicación específica.

**Impuestos Verdes:** son gravámenes que se aplican a las actividades que dañan el medio ambiente o que podrían hacerlo. También se les conoce como impuestos ambientales o ecológicos.

**Intensidad de Emisiones:** es la relación entre las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y una actividad o proceso. Se puede medir por unidad de Producto Interior Bruto (PIB), por unidad de energía producida, o por unidad de producto fabricado.

**IPCEI (Important Projects of Common European Interest):** instrumento de la Unión Europea que financia y coordina proyectos con gran relevancia estratégica para la innovación y competitividad, facilitando la cooperación entre países y empresas en ámbitos como el hidrógeno.

**Matriz Energética:** es una representación de la energía que se consume en un país o región, y de las fuentes de las que proviene. Se suele representar en un gráfico circular.

**Minería Verde:** es un método de extracción de minerales, metales y combustibles fósiles que busca reducir el impacto ambiental.

**Neutralidad Climática:** estado en el que las emisiones netas de todos los gases de efecto invernadero (y no solo CO<sub>2</sub>) son cero, mediante la reducción drástica de emisiones y la compensación de las inevitables a través de acciones de absorción o captura.

**Transición Energética:** es el proceso de cambiar el sistema energético para reducir el uso de combustibles fósiles y aumentar el uso de energías renovables. El objetivo es lograr un modelo energético más sostenible y combatir el cambio climático.

**Transporte Pesado:** Segmento del transporte que abarca vehículos de alto tonelaje (camiones de larga distancia, autobuses de gran capacidad, maquinaria minera, etc.), con un elevado consumo energético y requerimientos operativos estrictos.

## Resumen

**Título:** El Hidrógeno Verde En Chile Y Sus Implicaciones Para La Transición Energética En Colombia\*

**Autor:** Carlos Andrés Pinzón Barbosa\*\*

**Palabras Clave:** Chile, Colombia, green hydrogen, energy transition, energy policy, solar energy, wind energy, ammonia, non-conventional renewable energies.

### **Descripción:**

Este trabajo analiza la estrategia de desarrollo del hidrógeno verde (H<sub>2</sub>V) en Chile como una alternativa clave para la transición energética, y evalúa sus implicaciones para el contexto colombiano. El hidrógeno verde, producido mediante electrólisis a partir de fuentes renovables, se presenta como un vector energético fundamental para superar la intermitencia de las energías renovables no convencionales (ERNC) y descarbonizar sectores intensivos en emisiones. La investigación emplea una metodología cualitativa de tipo descriptivo y comparativo, basada en la revisión documental y análisis de políticas públicas, informes oficiales, literatura científica y casos internacionales. Se realiza un estudio de caso sobre Chile, país que ha consolidado una política energética robusta a través de marcos normativos estables, participación multisectorial y programas de fomento desde entidades como CORFO. Asimismo, se comparan las estrategias adoptadas por otras potencias energéticas como Alemania, Australia, Canadá y Japón, con el fin de identificar factores críticos de éxito. El análisis permite extraer lecciones valiosas para Colombia, resaltando la importancia de la planificación territorial, los incentivos fiscales, la infraestructura tecnológica y la gobernanza interinstitucional para desarrollar una hoja de ruta nacional en hidrógeno verde. Finalmente, se proponen recomendaciones para adaptar la experiencia chilena al contexto colombiano, fomentando inversiones sostenibles, ampliando la participación de actores locales y diversificando la matriz energética hacia un modelo bajo en carbono. El estudio concluye que Colombia puede acelerar su transición energética adoptando enfoques integrales y articulados, con base en experiencias regionales exitosas como la de Chile.

## Abstract

**Title:** Green Hydrogen in Chile and Its Implications for the Energy Transition in Colombia\*

**Author:** Carlos Andrés Pinzón Barbosa\*\*

**KEY WORDS:** *Chile, Colombia, green hydrogen, energy transition, energy policy, solar energy, wind energy, ammonia, non-conventional renewable energies.*

### **Description:**

This study analyzes Chile's green hydrogen (H<sub>2</sub>V) development strategy as a key alternative for the energy transition and evaluates its implications for the Colombian context. Green hydrogen, produced through electrolysis using renewable sources, is presented as a fundamental energy vector to overcome the intermittency of non-conventional renewable energies (NCRE) and decarbonize emission-intensive sectors. The research employs a qualitative descriptive and comparative methodology, based on documentary review and analysis of public policies, official reports, scientific literature, and international case studies. A case study of Chile is conducted, a country that has consolidated a robust energy policy through stable regulatory frameworks, multisectoral participation, and support programs from entities such as CORFO. In addition, the strategies adopted by other energy powers—such as Germany, Australia, Canada, and Japan—are compared to identify critical success factors. The analysis provides valuable lessons for Colombia, highlighting the importance of territorial planning, fiscal incentives, technological infrastructure, and interinstitutional governance to develop a national roadmap for green hydrogen. Finally, recommendations are made to adapt the Chilean experience to the Colombian context, promoting sustainable investment, expanding the participation of local actors, and diversifying the energy matrix toward a low-carbon model. The study concludes that Colombia can accelerate its energy transition by adopting comprehensive and coordinated approaches based on successful regional experiences such as that of Chile.

## Introducción

La energía ha sido, a lo largo de la historia, la moneda de cambio del ser humano. Desde tiempos remotos, la humanidad ha dependido de diversas fuentes energéticas para su desarrollo, desde la fuerza muscular y la biomasa, hasta las formas más sofisticadas de generación de energía en la actualidad. El acceso a una fuente confiable de energía es fundamental para el progreso económico y social, pues permite la industrialización, el desarrollo tecnológico y el bienestar general de la población.

El descubrimiento y uso de los combustibles fósiles marcaron un punto de inflexión en la evolución de la civilización. La explotación del carbón, el petróleo y el gas natural permitió un crecimiento sin precedentes en la producción industrial, el transporte y la generación de electricidad. Este avance trajo consigo un aumento en la calidad de vida y en la capacidad productiva de las sociedades, facilitando el desarrollo de infraestructuras, la expansión de los mercados y el progreso de la ciencia y la tecnología.

Sin embargo, el impacto ambiental del uso intensivo de combustibles fósiles ha generado una crisis climática sin precedentes. La evidencia científica confirma que el cambio climático es de origen antropogénico, impulsado por la emisión de gases de efecto invernadero derivados de la quema de estos combustibles. Por lo anterior, es imperativo que la humanidad avance hacia una transición energética basada en fuentes renovables, priorizando aquellas no convencionales que reduzcan la dependencia de los recursos fósiles y minimicen los efectos negativos sobre el medio ambiente.

Uno de los principales desafíos de las energías renovables no convencionales (ERNC) es su almacenamiento. A diferencia de los combustibles fósiles, que pueden ser almacenados y utilizados según la demanda, muchas de estas fuentes, como la solar y la eólica, son intermitentes

y no siempre coinciden con los momentos de mayor consumo. Esto representa un obstáculo significativo para su implementación masiva y su integración en los sistemas energéticos actuales.

En este contexto, el hidrógeno se posiciona como la solución más prometedora para actuar como vector energético en la transición hacia un modelo energético sostenible. Su capacidad para almacenar y transportar energía renovable permite superar las limitaciones de intermitencia de las ERNC, convirtiéndose en una alternativa viable para la descarbonización de múltiples sectores de la economía global.

Actualmente, la producción de hidrógeno verde ( $H_2V$ ), obtenido mediante electrólisis a partir de fuentes renovables, se encuentra en una fase de investigación y desarrollo para su escalabilidad en grandes volúmenes. Su principal desafío radica en la sincronización de las inversiones por parte de los distintos agentes de la cadena de valor, desde la generación hasta el consumo final. Sin esta alineación, el despliegue de la economía del  $H_2V$  podría verse ralentizado, afectando su competitividad y viabilidad.

Desde la perspectiva de la oferta, es necesario que se realicen inversiones en infraestructura clave, incluyendo plantas de generación de ERNC, plantas de tratamiento de agua, electrolizadores, sistemas de compresión y captura tanto de hidrógeno como de oxígeno, así como sistemas de almacenamiento. Estas inversiones son esenciales para garantizar un suministro estable y eficiente de  $H_2V$  a gran escala.

Por otra parte, transportar el hidrógeno requiere inversiones significativas como construcción de gasoductos especializados o la adecuación de la flota de transporte terrestre y marítimo. Esto también implica la modernización de los sistemas de compresión y

almacenamiento, así como la implementación de acoples adecuados para su inyección en la red de gas natural o su distribución en estaciones de abastecimiento de hidrógeno (hidrogenera).

La implementación del hidrógeno en los hogares o industrias representa un reto adicional, ya que requerirá modificaciones en calderas, estufas y demás aplicaciones energéticas. Para facilitar esta transición, será clave el desarrollo de tecnologías accesibles y eficientes, así como la generación de incentivos que promuevan la conversión de los sistemas hacia el uso de hidrógeno como fuente primaria de energía. Además, los consumidores deben tener acceso a productos asequibles que el mercado les ofrezca, como estufas diseñadas para trabajar con gas mezclado con hidrógeno en mezclas del 20%. En este sentido, la adopción masiva por parte de las familias solo será viable si su costo es inferior al de las alternativas convencionales que no incluyen hidrógeno en su composición.

Las modificaciones que le corresponden al transporte, tanto de personas como de materiales, representa otra barrera importante en la transición energética. Los fabricantes de vehículos, barcos y aviones deberán decidir si sus motores serán propulsados por pilas de combustible, agua, hidrógeno puro, amoníaco o hidrógeno licuado. Paralelamente, las estaciones de abastecimiento de hidrógeno para vehículos terrestres, así como los centros de suministro en puertos y aeropuertos, deberán realizar las inversiones necesarias para garantizar la infraestructura adecuada que permita la distribución y repostaje eficiente del combustible.

Chile ha sido un líder en la adopción temprana de ERNC, consolidándose como un referente en la transición energética en América Latina. Su marco regulatorio y su entorno natural han permitido un desarrollo acelerado en la generación ERNC, convirtiéndolo en un país con alto potencial para la producción de H<sub>2</sub>V. Actualmente, Chile se encuentra en el momento

oportuno para impulsar esta industria emergente, beneficiándose de su experiencia previa en energías solar y eólica y de un ecosistema propicio para atraer inversiones en el sector del H<sub>2</sub>V.

En el caso de Colombia, el gobierno del presidente Gustavo Petro ha manifestado su intención de acelerar la transición energética y diversificar la matriz energética del país. Con este propósito, resulta fundamental analizar la experiencia Chilena en el desarrollo del H<sub>2</sub>V y adaptarla al contexto colombiano. Este trabajo tiene como objetivo estudiar las estrategias de Hidrógeno Verde (H<sub>2</sub>V) implementadas en Chile e identificar qué lecciones podría aprender Colombia en su camino hacia la transición energética.

## Objetivos

### Objetivo General

Realizar un análisis integral sobre el uso del hidrógeno verde en Chile como alternativa energética, evaluando su impacto económico y tecnológico, comparando su estrategia con la de otros países (Australia, Canadá, Alemania, Japón) con el fin de identificar oportunidades de aplicación en sectores clave de la economía Chilena y extraer lecciones aplicables a Colombia en su transición hacia una matriz energética descarbonizada para 2050.

### Objetivos Específicos

Identificar los factores de competitividad y las ventajas estratégicas en el contexto de la transición energética global examinando la alineación de la estrategia de hidrógeno verde de Chile con su política económica y energética.

Evaluar las aplicaciones de adopción de Hidrógeno Verde a gran escala analizando los desafíos económicos, tecnológicos y regulatorios que enfrenta Chile para implementar su estrategia de hidrógeno verde.

Comparar las lecciones de la estrategia de hidrógeno verde de Chile con el contexto colombiano, identificando los desafíos específicos de Colombia en términos de infraestructura, regulación y financiamiento, y proponiendo recomendaciones para facilitar su propia transición energética.

## Chi Chi Chi – Le Le Le

En diciembre de 2016, un año después de que la presidenta Michelle Bachelet publicara la Política Energética 2050, Chile generó 6 GWh de electricidad, con una matriz dominada por la termoelectricidad (57,5%), seguida por la hidroelectricidad convencional (27,9%) y, en menor medida, por las ERNC, que representaban apenas un 14,5% del total (Comisión Nacional de Energía (Chile), 2016).

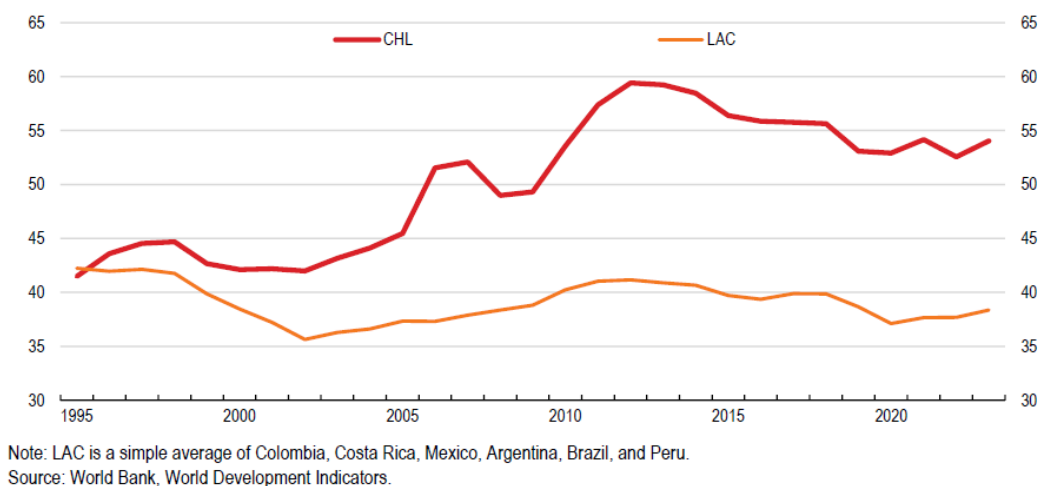
Ocho años después, el panorama energético chileno ha cambiado radicalmente. Con la consolidación del Sistema Eléctrico Nacional (SEN)—resultado de la fusión del Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING)—, la generación total ascendió a 6,8 GWh. En este nuevo escenario, las ERNC han adquirido un rol protagónico, aportando el 44% de la generación total, lo que equivale a 2,99 GWh. Este crecimiento exponencial refleja un avance significativo en la transición energética del país, multiplicando por 3,4 veces la capacidad de generación renovable en tan solo 96 meses. (Comisión Nacional de Energía (Chile), 2024)

### Los Números Macroeconómicos

Este proceso de transformación energética no puede analizarse de manera aislada, sino como parte de la evolución del modelo económico chileno. Desde la apertura de sus mercados en la década de 1970, bajo la influencia de los Chicago Boys—discípulos del economista Milton Friedman—, Chile ha sido un referente en la aplicación de políticas de libre competencia en sectores clave como el laboral, comercial y financiero. Este enfoque liberal, que dio origen al llamado "milagro chileno", estableció un marco normativo propicio para la inversión privada, sentando las bases para la modernización del sector energético. La transición hacia un modelo más sostenible y diversificado, evidenciada en el crecimiento de las ERNC, es el resultado de

esta estructura económica que ha fomentado la innovación, la eficiencia y la atracción de capital para el desarrollo de energías limpias.

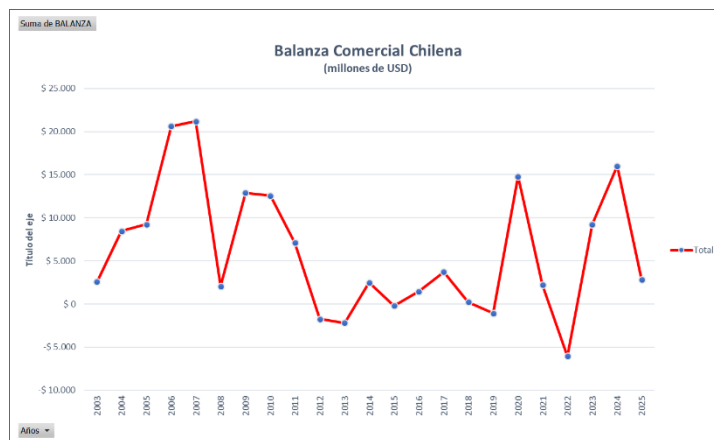
Este "milagro chileno" se manifiesta de manera tangible en tres de los principales indicadores macroeconómicos: el Producto Interno Bruto (PIB), la inflación y la balanza comercial. En particular, el PIB ha reflejado un desempeño notable en comparación con el promedio de América Latina y el Caribe (LAC). Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Chile ha mantenido una trayectoria de crecimiento superior a la de la región, ampliando su brecha estructural desde la década de 2000. Este desempeño ha permitido al país alcanzar un mayor nivel de convergencia con las economías desarrolladas, consolidando su posición como uno de los mercados más dinámicos y resilientes de América Latina. (OECD Economic Surveys, 2025)



### **Ilustración 1. Convergencia del PIB per cápita, precios corrientes, USD, PPA, % del promedio de la OCDE**

La balanza comercial Chilena refleja la solidez estructural de su economía, con un predominio de superávits comerciales sobre déficits a lo largo de las últimas dos décadas. La gráfica muestra cómo Chile ha logrado mantener una posición favorable en el comercio

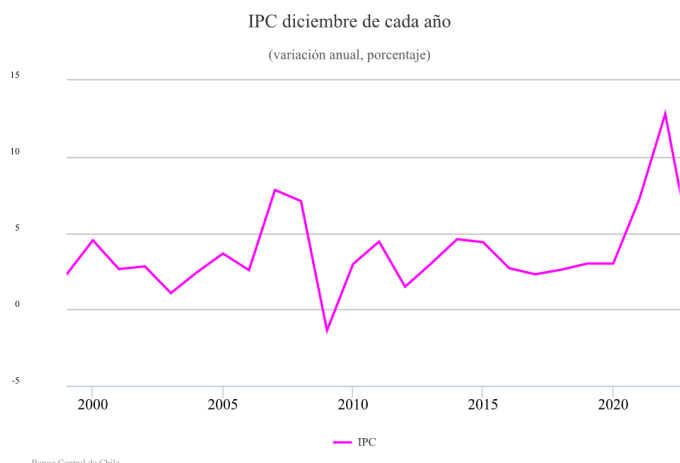
internacional, con periodos de alto excedente, especialmente entre 2006 y 2008, impulsados por la creciente demanda de commodities como el cobre. A pesar de la crisis financiera global de 2008-2009, que generó una contracción temporal, la economía Chilena mostró una rápida recuperación, manteniendo un saldo comercial positivo en la mayoría de los años analizados. Las fluctuaciones observadas entre 2010 y 2019 reflejan una gestión eficiente del comercio exterior y la capacidad del país para adaptarse a cambios en los mercados internacionales. Aunque en 2022 se observa un déficit coyuntural, posiblemente vinculado a un aumento en las importaciones tras la reactivación post-pandemia, el repunte posterior confirma la resiliencia del sector exportador. En este contexto, la balanza comercial Chilena evidencia la fortaleza macroeconómica del país, sustentada en una política comercial abierta y una integración estratégica con mercados internacionales, lo que le permite sortear crisis globales y sostener un crecimiento económico estable.



**Ilustración 2. Balanza Comercial Chilena (millones de USD) (Banco Central de Chile, 2024)**

La estabilidad macroeconómica de Chile también se refleja en su capacidad para controlar la inflación a lo largo de las últimas dos décadas. Aunque han existido episodios de volatilidad asociados a crisis globales y shocks externos, la variación anual del Índice de Precios al Consumidor (IPC) se ha mantenido dentro de márgenes manejables, evidenciando la

efectividad del marco de política monetaria y fiscal del país. El Banco Central ha desempeñado un rol crucial en este control, ajustando la tasa de interés de referencia para mitigar presiones inflacionarias y anclar las expectativas del mercado. Paralelamente, la política fiscal ha sido caracterizada por su disciplina y prudencia, evitando déficits excesivos y asegurando la sostenibilidad de la deuda pública.



**Ilustración 3. Índices de Precios al Consumidor - Chile (Banco Central de Chile, 2024)**

En años recientes, la inflación ha experimentado un repunte, influenciado por factores globales como disrupciones en la cadena de suministro, estímulos fiscales derivados de la pandemia y el impacto de la guerra en Ucrania sobre los precios de la energía y los alimentos. No obstante, la capacidad de respuesta de Chile ha demostrado ser efectiva, implementando ajustes oportunos para estabilizar los precios y preservar el poder adquisitivo de los consumidores. Este manejo responsable de la política económica no solo refuerza la confianza de los mercados, sino que también consolida la posición del país como un referente de estabilidad en América Latina, ofreciendo un entorno propicio para la inversión y el desarrollo sostenible.

## **H2V ¿Se Puede Lograr En Chile?**

La exitosa incorporación de ERNC en Chile fue posible gracias a dos factores clave: la seguridad jurídica garantizada por la Constitución Chilena, que brindó confianza a la inversión

privada, y, la implementación de la Política Energética 2050. Chile, a diferencia de otros países que apostaron por adoptar las ERNC en sus fases iniciales de investigación y desarrollo (I+D), las adoptó en un momento más avanzado, cuando las condiciones para su implementación eran más favorables y los costos más competitivos. Este enfoque pragmático permitió al país consolidar un sector energético renovable robusto en un tiempo relativamente corto.

Sin embargo, la producción de hidrógeno verde (H<sub>2</sub>V) a partir de fuentes renovables aún se encuentra en una etapa incipiente. Si Chile aspira no solo a ingresar en este mercado emergente, sino a posicionarse como un actor protagónico a nivel global, debe acelerar la adopción de esta tecnología. Para lograrlo, el modelo de mínima intervención estatal que ha caracterizado la economía Chilena en las últimas décadas deberá evolucionar, promoviendo políticas que incentiven el desarrollo del H<sub>2</sub>V. De acuerdo con el exministro de Energía Juan Carlos Jobet, Chile posee ventajas estratégicas excepcionales, como un alto potencial solar y eólico, vastos territorios y una extensa línea costera, que le permitirían producir el hidrógeno más competitivo del mundo. Esta apuesta no solo consolidaría al país como líder en la transición energética global, sino que también contribuiría a mitigar el cambio climático, fortalecería su independencia energética y diversificaría su matriz productiva, asegurando un crecimiento sostenible en el largo plazo. (Khanna, 2022).

**No Todo es el Dinero.** Aunque la inversión y los incentivos económicos son fundamentales, no todo depende de los recursos financieros. El desarrollo de la Política Energética 2050 fue desarrollada a través de un proceso participativo sin precedentes en Chile, con el propósito de construir consensos entre los distintos actores del sector energético. Su elaboración incluyó diálogos estructurados en los que participaron empresas, gremios, universidades, organizaciones no gubernamentales, comunidades locales y entidades gubernamentales, asegurando que las

decisiones estratégicas reflejaran una visión compartida del futuro energético del país (Ministerio de Energía (Chile), 2015).

Este enfoque permitió la integración de perspectivas diversas en torno a la sostenibilidad, la competitividad y la equidad social en la transición energética. A través de mesas de trabajo, talleres y consultas públicas, se definieron metas clave, como la carbono-neutralidad al 2050 y el fortalecimiento de una matriz energética basada en energías renovables (Ministerio de Energía (Chile), 2024). Asimismo, la política ha sabido adaptarse a los cambios sociales y políticos del país, particularmente tras las protestas de 2019, que evidenciaron la necesidad de mayor equidad y participación ciudadana en las decisiones estratégicas. Como resultado, se incorporaron medidas para garantizar beneficios tangibles en las comunidades donde se desarrollan proyectos energéticos, promoviendo un modelo de transición justa e inclusiva que asegure el bienestar económico y ambiental de Chile a largo plazo.

**Tabla 1. Partes interesadas H<sub>2</sub>V Chile: posiciones y roles**

<b>Parte Interesada</b>	<b>Posición y Rol</b>
Gobierno de Chile (Ministerio de Energía, CORFO, InvestChile, etc.)	Impulsa el hidrógeno verde con incentivos regulatorios y financieros para atraer inversión y posicionar a Chile como líder global.
Empresas del sector energético (Enel, Engie, AES Andes, etc.)	Desarrollan proyectos de producción y almacenamiento de hidrógeno verde, promoviendo su integración industrial y exportación.
Industria minera (Codelco, BHP, Anglo American, etc.)	Adoptan el hidrógeno verde para descarbonizar operaciones, especialmente en transporte y procesos productivos.
Academia y centros de investigación (Universidades, GIZ, etc.)	Analizan la viabilidad, eficiencia e innovación del hidrógeno verde para impulsar su desarrollo.
Sociedad civil y ONG ambientales	Apoyan el hidrógeno verde por su impacto en la reducción de emisiones, exigiendo regulación ambiental y participación ciudadana.

Comunidades locales	Buscan beneficios económicos y sociales del hidrógeno verde, junto con garantías ambientales y laborales.
Inversionistas nacionales e internacionales	Ven en el hidrógeno verde una oportunidad de inversión y exigen estabilidad regulatoria para financiar proyectos.

Para la formulación de la estrategia de hidrógeno verde y la Política Energética Nacional, el Ministerio de Energía implementó mesas redondas, talleres ciudadanos y consultas públicas en línea como herramientas clave para la construcción de consenso y la integración de diversas perspectivas.

Las mesas redondas reunieron a representantes del sector privado, gremios, universidades, organizaciones no gubernamentales y entidades gubernamentales, con el objetivo de identificar barreras y oportunidades en el desarrollo del hidrógeno verde y la transición energética. A través de estos espacios de diálogo, se establecieron acciones estratégicas, se priorizaron incentivos y se definieron compromisos interinstitucionales que facilitarán la implementación del plan.

Por su parte, los talleres ciudadanos permitieron incorporar la perspectiva de la sociedad civil y las comunidades locales. Desarrollados en distintas regiones del país, estos encuentros promovieron la participación de organizaciones ambientales y ciudadanos directamente afectados por proyectos energéticos. En ellos se abordaron inquietudes sobre impactos ambientales, generación de empleo local y el papel del Estado en la regulación y promoción del hidrógeno verde.

Además, se habilitó un mecanismo de consultas públicas en línea, a través del cual ciudadanos, empresas, ONGs e instituciones académicas tuvieron la oportunidad de revisar el borrador del plan y enviar sus comentarios. Mediante un formulario estructurado, se logró organizar las observaciones de manera eficiente, permitiendo su análisis y eventual

incorporación en la estrategia final. En total, se recibieron cerca de 120 formularios con aproximadamente 1.900 sugerencias, reflejando una participación representativa del sector privado (46%), la sociedad civil (40%), la academia (9%) y el sector público (5%). A partir de estos aportes, se realizaron ajustes clave en la propuesta original, mejorando su estructura y fortaleciendo los mecanismos de monitoreo y seguimiento del plan.

**Chile Despliega su Estrategia.** El gobierno chileno comprendió que la inversión en hidrógeno verde no avanzaría con la misma rapidez que el desarrollo ERNC, por lo que, a partir del consenso generado entre los diversos actores del sector estructuró un conjunto de estrategias para dinamizar el sector y reducir las barreras de entrada. Para dinamizar el sector del hidrógeno verde, el gobierno chileno estableció un conjunto de instrumentos, entre ellos se encuentran la implementación de impuestos verdes, la creación de mecanismos de cuotas y el acceso a financiamiento a través de CORFO. Asimismo, se diseñaron incentivos para la disponibilidad de terrenos mediante acuerdos de arrendamiento de tierras estatales, junto con la promoción de la demanda interna a través de empresas públicas.

**Impuestos Verdes: Una Herramienta Efectiva.** desde el 1 de enero de 2017, como resultado de la reforma tributaria de 2014 (Ley N° 20.780) (Ministerio de Hacienda (Chile), 2014) Chile implementó impuestos verdes aplicables a fuentes fijas de emisión. Este mecanismo fiscal grava contaminantes como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), material particulado (MP), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), afectando a establecimientos cuya capacidad térmica instalada sea igual o superior a 50 MWt.

El impacto recaudatorio de estos impuestos ha sido significativo. En su primer año de aplicación, los ingresos provenientes de fuentes fijas ascendieron a US\$ 191,3 millones, mientras que, al incluir las fuentes móviles (vehículos), el total alcanzó los US\$ 298,3 millones

(Fundación Chile 21, 2024). Estas cifras evidencian el papel del gravamen no solo como un mecanismo de desincentivo ambiental, sino también como una fuente de recursos para el Estado.

El sector eléctrico, particularmente las centrales termoeléctricas, ha sido el principal contribuyente a este impuesto, representando aproximadamente el 94% del total recaudado por fuentes fijas. En 2017, estas instalaciones aportaron US\$ 179,8 millones, con una carga impositiva dominada por las emisiones de CO<sub>2</sub> (88%), seguidas por MP (8%), NO<sub>x</sub> (3%) y SO<sub>2</sub> (1%) (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2024)

En 2023, con la entrada en vigor del Sistema de Compensación de Impuestos Verdes, se introdujo una nueva alternativa para las empresas, permitiéndoles compensar parcial o totalmente sus emisiones mediante proyectos certificados de reducción, como iniciativas de reforestación o captura de carbono. Este mecanismo, administrado a través de un Registro Nacional bajo supervisión de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA), busca potenciar el impacto ambiental del impuesto, canalizando los recursos hacia inversiones verificables y sostenibles. Aunque aún es temprano para evaluar sus efectos cuantitativos, se espera que esta política refuerce la transición hacia una economía baja en carbono y estimule nuevas inversiones en sostenibilidad.

**Mecanismo de cuotas:** un incentivo pendiente. A diferencia de las ERNC, cuyo desarrollo en Chile fue impulsado mediante un esquema de cuotas bajo la Ley N° 20.257 (Biblioteca Nacional del Congreso de Chile, 2008), el hidrógeno verde aún no cuenta con un mecanismo similar plenamente implementado a nivel nacional. No obstante, la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, presentada en 2020, y el Plan de Acción de Hidrógeno Verde 2023-2030 han considerado la viabilidad de este tipo de instrumentos como una vía para dinamizar la demanda y acelerar el crecimiento de la industria. La exploración de este mecanismo refleja la intención del Estado de

generar certidumbre para inversionistas y actores del sector, facilitando la consolidación de un mercado robusto y competitivo para el hidrógeno verde en Chile.

La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, presentada en noviembre de 2020, incorporó dentro de sus líneas de acción la posibilidad de implementar mecanismos de cuotas en redes de gas como una estrategia para estimular la demanda de hidrógeno verde. Este enfoque toma como referencia el éxito de las cuotas obligatorias que impulsaron la adopción de ERNC en Chile. La propuesta busca establecer un marco regulatorio que obligue a determinados sectores, como distribuidores de gas, a incorporar un porcentaje mínimo de hidrógeno verde en sus operaciones (Ministerio de Energía (Chile), 2020). En esta misma dirección, el Plan de Acción 2023-2030, publicado por el Ministerio de Energía, refuerza esta visión al incluir medidas orientadas a la revisión del marco regulatorio del gas natural, facilitando la inyección de hidrógeno verde en la infraestructura existente y avanzando en la definición de estándares técnicos que podrían derivar en la adopción de cuotas obligatorias en el futuro (Ministerio de Energía (Chile), 2024).

En la Región de Coquimbo, se ha implementado una iniciativa pionera en América Latina que inyecta hidrógeno verde en las redes de gas natural para abastecer a hogares y comercios. Este proyecto piloto, liderado por la empresa Gasvalpo a través de su marca Energas, comenzó en noviembre de 2022 y beneficia a más de 2.000 hogares en las ciudades de La Serena y Coquimbo. La iniciativa busca reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> al introducir una mezcla de hasta un 20% de hidrógeno verde en la red de distribución de gas natural, sin requerir modificaciones en los artefactos domésticos de los usuarios (Gasvalpo, s.f.).

La planta piloto de producción de hidrógeno verde está ubicada en el Barrio Industrial de Coquimbo y utiliza energía renovable para generar hidrógeno mediante electrólisis. Este hidrógeno se almacena y posteriormente se inyecta en la red de gas natural. El proyecto cuenta

con el monitoreo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de La Serena para asegurar su correcto funcionamiento y evaluar su impacto.

El Banco Mundial, en su informe de 2023 titulado "Hidrógeno verde para apoyar un desarrollo económico verde, resiliente e inclusivo en Chile", propuso la implementación de un marco regulatorio que incorpore cuotas de hidrógeno verde en el mercado de combustibles. Este análisis se basó en modelos exitosos, como los de la Unión Europea, donde se han establecido metas específicas para la integración del hidrógeno en sectores clave, incluyendo el transporte. Para expandir el uso del hidrógeno verde en industrias como la minería y el transporte, el informe sugiere que Chile debería definir cuotas específicas. No obstante, estas recomendaciones se encuentran actualmente en fase de evaluación y aún no han sido adoptadas de manera formal (World Bank Group, 2022).

**Corporación del Fomento a la Producción.** el gobierno de Chile a través de CORFO ha desplegado una serie de mecanismos de fomento orientados a superar las barreras de financiamiento que enfrentan las iniciativas vinculadas al desarrollo tecnológico y productivo del hidrógeno verde en Chile. Estos instrumentos buscan fortalecer toda la cadena de valor del sector, facilitando la inversión en innovación, infraestructura y escalamiento industrial (Ministerio de Energía (Chile), 2024). Además, su implementación cuenta con el respaldo del Programa de Desarrollo Productivo Sostenible del Ministerio de Economía, asegurando una alineación estratégica con los objetivos de crecimiento sostenible y transición energética del país.

**Tabla 2. Instrumentos de Fomento CORFO (Ministerio de Energía (Chile), 2024)**

Instrumentos de Fomento	Funciones
Programas Tecnológicos	Programas que impulsan la innovación tecnológica en sectores estratégicos mediante proyectos coordinados que reducen brechas, mejoran la productividad y fomentan la diversificación, fortaleciendo su competitividad.

Estratégicos (PTEC)	Se han realizado cuatro convocatorias PTEC con inversiones totales estimadas entre US\$ 24,55 y US\$ 33,55 millones, de las cuales CORFO ha cofinanciado entre US\$ 13,28 y US\$ 19,28 millones. Estas iniciativas reflejan un enfoque en innovación tecnológica y adopción industrial, especialmente en minería, logística y fertilizantes.
Instrumento Capital Humano para la Innovación	Busca potenciar la capacidad tecnológica empresarial mediante la incorporación de expertos en I+D+i, quienes identificarán oportunidades para mejorar la productividad y competitividad a través de la innovación. Este instrumento cuenta con el respaldo del Ministerio de Economía a través del Programa de Desarrollo Productivo Sostenible (DPS).
Instrumento Crea y Valida	Impulsa el desarrollo y validación de productos, procesos y servicios tecnológicos desde la fase de prototipado hasta su escalamiento industrial y comercial, abordando desafíos productivos u oportunidades de mercado mediante I+D+i. Cuenta con dos modalidades: Empresarial, donde la innovación se desarrolla internamente, y Colaborativa, que incorpora capacidades externas para fortalecer el proceso.
Instrumento Innova Alta Tecnología	Busca respaldar proyectos de I+D+i con alto riesgo tecnológico, facilitando su escalamiento a nivel global y el desarrollo de soluciones de alta sofisticación. Sus objetivos incluyen fomentar la creación de nuevos productos, servicios y procesos, impulsar estrategias de protección y comercialización de resultados, y fortalecer las capacidades de I+D+i en las empresas.
Instrumento Viraliza	Impulsa una cultura de emprendimiento e innovación mediante iniciativas de amplio alcance que mejoran el entorno empresarial, fomentan el espíritu emprendedor y posicionan la innovación como motor clave del desarrollo económico y social.
Instrumento Potencia	Ofrece acompañamiento, mentoría y servicios especializados para fortalecer emprendimientos dinámicos en sus etapas iniciales, optimizando su desarrollo, reduciendo riesgos comerciales y facilitando su crecimiento e internacionalización.
Instrumento Escalamiento	Cofinancia la expansión de emprendimientos innovadores con alto potencial de crecimiento, facilitando la ejecución de planes de negocio a escala global y su proyección hacia mercados internacionales.

Retos de Innovación	Busca resolver desafíos de interés público que impactan a un sector productivo o cadena de valor mediante soluciones innovadoras de base tecnológica, cofinanciando actividades como validación técnica y comercial, estudios de factibilidad y estrategias de escalamiento.
Programas de Fomento a la Calidad - Focal	Este instrumento impulsa la productividad y competitividad empresarial mediante el cofinanciamiento de la implementación y certificación de normas técnicas y protocolos reconocidos por CORFO, facilitando el acceso a mercados sofisticados y de exportación.
Subsidio a la demanda de hidrógeno verde	Corfo lanzará una convocatoria para otorgar subsidios directos a iniciativas que impulsen la demanda de hidrógeno verde en Chile, incorporando un componente de I+D en los proyectos.

Una de las iniciativas más relevantes de CORFO ha sido la licitación lanzada en abril de 2021, diseñada para catalizar la producción de hidrógeno verde a gran escala. Esta licitación asignó recursos a seis proyectos estratégicos con una capacidad combinada de 388 MW (CORFO, 2021), priorizando el desarrollo de electrolizadores y su puesta en operación antes de diciembre de 2025.

En términos de financiamiento, CORFO comprometió hasta US\$ 50 millones en aportes públicos, de los cuales se adjudicaron aproximadamente US\$ 43,6 millones a iniciativas clave como GNL Quintero, CAP y Air Liquide. Paralelamente, el sector privado, representado por empresas como Enel, GNL Quintero, CAP, Air Liquide, Linde GmbH y Engie, movilizó una inversión total de US\$ 1.000 millones (CORFO, 2021), consolidando el rol de Chile como un actor clave en la industria emergente del hidrógeno verde.

**¿Y la Tierrita Qué?** el Gobierno de Chile ha diseñado una serie de incentivos estratégicos orientados a optimizar el acceso a terrenos fiscales y facilitar concesiones para la instalación de proyectos de producción de hidrógeno verde y sus derivados.

Chile como líder en la transición energética global, en julio de 2023, el Ministerio de Bienes Nacionales, en articulación con el Ministerio de Energía, puso en marcha el Plan Nacional de Fomento a la Producción de Hidrógeno Verde en Territorio Fiscal. Esta iniciativa, concebida como un catalizador del desarrollo industrial sostenible, tiene como objetivo principal optimizar el uso de terrenos fiscales estratégicamente ubicados en regiones con un alto potencial de generación renovable, como Antofagasta y Magallanes.

En el marco de esta estrategia, el Gobierno chileno destinó 13 hectáreas de suelo fiscal en la región de Antofagasta para la creación de un distrito minero con una capacidad inicial de 20 MW en electrolizadores. Esta iniciativa responde a la necesidad de acelerar la implementación de tecnologías limpias en uno de los sectores más relevantes de la economía nacional. La minería, históricamente dependiente de combustibles fósiles para sus operaciones, se encuentra en un proceso de transformación estructural orientado hacia la sostenibilidad.

Para garantizar la viabilidad financiera y operativa de estos desarrollos, el modelo de implementación adoptado se sustenta en un esquema de concesión de uso oneroso, un mecanismo de arrendamiento a largo plazo dirigido a empresas desarrolladoras de proyectos de hidrógeno verde. Los criterios de asignación de terrenos fiscales para proyectos de hidrógeno verde estarán determinados por su factibilidad económica, asegurando la viabilidad financiera y la capacidad de ejecución de las iniciativas. Además, se priorizará el emplazamiento en zonas estratégicas con alta concentración de proyectos vinculados a la cadena de valor del hidrógeno verde, promoviendo sinergias industriales y el desarrollo de ecosistemas productivos.

Asimismo, se exigirá el cumplimiento de requisitos de avance real de cada proyecto, considerando su time “to market” y su compatibilidad con la planificación territorial y regulatoria. Paralelamente, se evaluarán incentivos asociados a la renta concesional, garantías y

coordinación de la asignación de terrenos y servidumbres, priorizando aquellos proyectos de escala industrial en fases tempranas, con alto potencial de impacto y contribución a la transición energética

**El Ejemplo se da en Casa.** Para impulsar la demanda de Hidrógeno verde en Chile, se dirigen los esfuerzos a la creación de un mercado local robusto que permita la sustitución progresiva de combustibles fósiles en sectores estratégicos de la economía nacional, priorizando su implementación en seis áreas clave: refinerías, producción de amoníaco verde, camiones mineros, transporte de carga pesada, buses de larga autonomía e inyección en redes de gas. Al mismo tiempo, dichos esfuerzos buscan posicionar a Chile como un actor clave en la producción y exportación de hidrógeno verde, consolidando su liderazgo en la transición energética global.

Desde la implementación de la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en 2020, se conformó un grupo de trabajo con empresas estatales como ENAP y CODELCO para acelerar la adopción del hidrógeno verde en sus operaciones de refinería y en las de sus proveedores. Este grupo tiene como objetivo identificar aplicaciones prácticas y establecer compromisos para el uso interno del hidrógeno verde en sectores estratégicos (Ministerio de Energía (Chile), 2020). En línea con esta iniciativa, en 2023 ENAP lanzó proyectos piloto para integrar hidrógeno verde en sus refinerías, con el respaldo del Ministerio de Energía y CORFO, como parte de su estrategia de transición energética (ENAP, 2023). Estas acciones no solo fomentan la demanda de hidrógeno verde en industrias clave, sino que también optimizan el uso de la infraestructura existente y generan economías de escala, facilitando su integración en el mercado.

Dentro de este ecosistema en evolución, el Proyecto HyEx, alianza entre Enaex y Engie busca producir amoníaco verde a partir de fuentes renovables (Ammonia Energy, 2023), garantizando suministro sostenible para la minería. Su implementación consta de dos fases: en

2025, con una producción inicial de 18.000 toneladas métricas mediante una planta de electrólisis de 26 MW, seguida de una expansión a 2.800 MW en 2030, con una producción estimada de 700.000 toneladas métricas anuales (Ammonia Energy, 2023).

Más allá del suministro energético, HyEx redefinirá la sostenibilidad del sector minero y fortalecerá la independencia energética de Chile. La sustitución de amoníaco gris reducirá drásticamente la huella de carbono en la producción de explosivos, alineando a la industria con los estándares globales de descarbonización (Energía Estratégica, 2022).

En el sector minero, pilar fundamental de la economía Chilena y responsable de aproximadamente el 17,1% de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero durante los años 2020 al 2022 (Ministerio de Ambiente (Chile), 2025), enfrenta el desafío de acelerar su transición hacia un modelo más sostenible. Su aplicación en transporte, generación de energía y producción de explosivos no solo permitirá disminuir significativamente las emisiones del sector, sino que también fortalecerá la competitividad de la minería Chilena en un mercado global cada vez más exigente en términos de sostenibilidad.

El Proyecto PTEC HYDRA representa un avance significativo en la descarbonización del sector minero, consolidando a Chile como pionero en la aplicación del hidrógeno en operaciones de alto impacto. Liderado por CSIRO Chile, ENGIE y Mining3, y respaldado por CORFO, esta iniciativa desarrolla trenes motrices híbridos que combinan celdas de combustible de hidrógeno y baterías eléctricas, con el propósito de sustituir el diésel en maquinaria pesada (International Mining, 2021). Desde su lanzamiento en 2020 bajo el programa Innova Alta Tecnología de CORFO, el proyecto ha movilizado una inversión de US\$ 1,57 millones, financiada tanto por el sector público como por el privado (International Mining, 2022).

Desplegado en fases sucesivas entre 2020 y 2024, el proyecto inició con estudios de viabilidad técnica y económica, seguidos del diseño y construcción de un prototipo estacionario equipado con una celda de combustible Ballard FCmove™-HD de 60 kW y una batería de 140 kWh (Fuel Cells Works, 2022). Posteriormente, este sistema fue sometido a pruebas operativas en condiciones extremas dentro de Mina Centinela, Antofagasta Minerals, que se encuentra a 2.300 m.s.n.m., donde se evaluó su desempeño en un entorno minero.

Los resultados preliminares han sido prometedores, evidenciando una reducción del 80% en emisiones de CO<sub>2</sub> y un ahorro operativo del 5% en una flota de 18 camiones (Mining.com, 2021). Sin embargo, la necesidad de infraestructura de abastecimiento continúa siendo barrera para su adopción masiva. Se proyecta que, con la optimización tecnológica y la escalabilidad del mercado, esta solución incrementará su competitividad hacia 2030 (Energy News, 2022), permitiendo su integración a gran escala.

Más allá de su impacto operativo, HYDRA ha posicionado a Chile como un referente global en el uso de hidrógeno en minería, impulsando la transferencia de conocimiento y la evolución del marco normativo en seguridad energética. Su éxito dependerá de la capacidad del ecosistema industrial para atraer inversiones y acelerar la implementación de infraestructura clave. En un contexto donde la transición energética se ha convertido en un imperativo competitivo, el desarrollo de soluciones como HYDRA no solo refuerza la sostenibilidad del sector minero, sino que también consolida la proyección de Chile como un actor clave en la revolución del hidrógeno verde a nivel mundial.

El Proyecto PTEC Hidrohaul representa un paso crucial en la transformación del sector logístico y de transporte en Chile, mediante la integración del hidrógeno verde en operaciones de carga pesada y distribución urbana. Liderado por Mining3 e Ingeniería en Eficiencia Energética

(IEE), con el respaldo financiero de CORFO y el apoyo estratégico de Walmart Chile, Marval y Copec, esta iniciativa busca demostrar la viabilidad técnica y económica de las celdas de combustible de hidrógeno en flotas de largo alcance, remolques refrigerados y transporte urbano. Con una inversión total de US\$ 6,15 millones, el proyecto ha recibido un aporte de US\$ 3,45 millones a través del Programa Tecnológico para el Uso y Adopción de Hidrógeno en la Industria Chilena (PTEC 2023), evidenciando el compromiso del sector público y privado en la transición hacia energías limpias (Mining 3, 2024).

El proyecto se desarrolla en tres etapas: diseño, pruebas e implementación. Durante 2024, se completaron los primeros prototipos de camiones de hidrógeno con una autonomía de hasta 750 km, integrando sistemas avanzados de almacenamiento y baterías de respaldo (Diario Estrategia, 2025). Las pruebas operativas se llevan a cabo en la Región Metropolitana, enfocadas en transporte urbano y refrigerado, y en Antofagasta, evaluando rutas mineras y de carga pesada en terrenos fiscales concesionados (Mining Magazine, 2022). Paralelamente, Copec ha desarrollado una hidrogenera en San Javier para optimizar la infraestructura de abastecimiento (S&P Global, 2022), mientras que un centro de mantenimiento especializado ha sido establecido para garantizar la operatividad de esta nueva flota.

Hidrohaul no solo acelera la descarbonización del transporte de carga en Chile, sino que también posiciona al país como un referente en la integración del hidrógeno verde en la logística global. En un mercado donde la competitividad estará cada vez más vinculada a la capacidad de innovación y adaptación a estándares ambientales exigentes, este proyecto se consolida como un modelo de vanguardia en la transición hacia un sistema de movilidad sostenible y eficiente.

En el proceso de consolidación del hidrógeno verde como un pilar estratégico de la transición energética, la integración progresiva de este recurso en las redes de gas natural se

posiciona como una alternativa viable para estimular la demanda y facilitar su adopción en el sector residencial e industrial. Una de las iniciativas más destacadas en esta línea es el proyecto de blending desarrollado en La Serena y Coquimbo, liderado por Gasvalpo, el cual marca un precedente en la inyección controlada de hidrógeno verde en la red de gas natural (Ministerio de Energía (Chile), 2022). Implementado en noviembre de 2022, este programa contempla una mezcla inicial de 1% a 5%, con el objetivo de incrementar progresivamente la proporción hasta un 20% en fases futuras. Este enfoque permite reducir de manera efectiva las emisiones de CO<sub>2</sub>, manteniendo la compatibilidad con la infraestructura y los equipos de los usuarios, lo que elimina barreras técnicas y facilita una transición energética más fluida y eficiente.

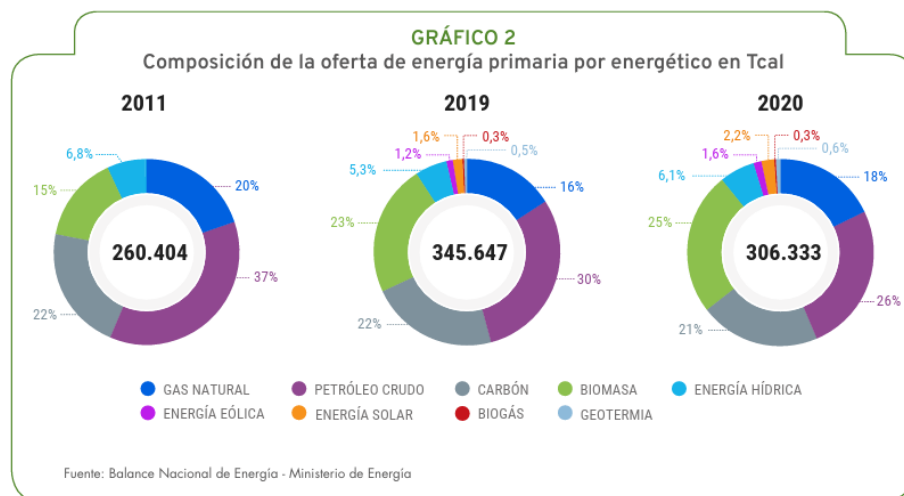
Paralelamente, se han llevado a cabo estudios técnicos orientados a evaluar la viabilidad operativa y la seguridad de este modelo de integración. Estas investigaciones han permitido identificar los porcentajes óptimos de mezcla y las modificaciones necesarias en la infraestructura de distribución para garantizar una implementación segura y eficiente (4e, 2021). Además, el desarrollo de regulaciones específicas en torno a la inyección de hidrógeno en la red de gas natural se ha convertido en una prioridad dentro de la agenda energética nacional. La estandarización de normativas permitirá generar confianza en los actores del mercado, promoviendo la inversión y consolidando el hidrógeno verde como un vector clave en la descarbonización del sector energético. A medida que la regulación avance y los costos de producción disminuyan, esta estrategia de *blending* se proyecta como un puente hacia la expansión del hidrógeno en mercados de mayor escala, contribuyendo a la transición hacia un modelo energético más sostenible y competitivo.

### **Haciendo Introspección Energética**

En el transcurso del mes de diciembre, la matriz energética Chilena experimentó un hito sin precedentes al registrar un 77% de generación proveniente de fuentes renovables. Este logro incluyó contribuciones significativas de energía hidráulica, biomasa y solar, evidenciando la capacidad del sistema eléctrico para integrar diversas fuentes de generación de manera segura, estable y eficiente. En términos anuales, esta tendencia consolidó la participación de las energías renovables en aproximadamente el 68% de la generación total de electricidad en 2024, reafirmando el avance del país hacia un modelo energético más sostenible y resiliente (Invest Chile Blog, 2025).

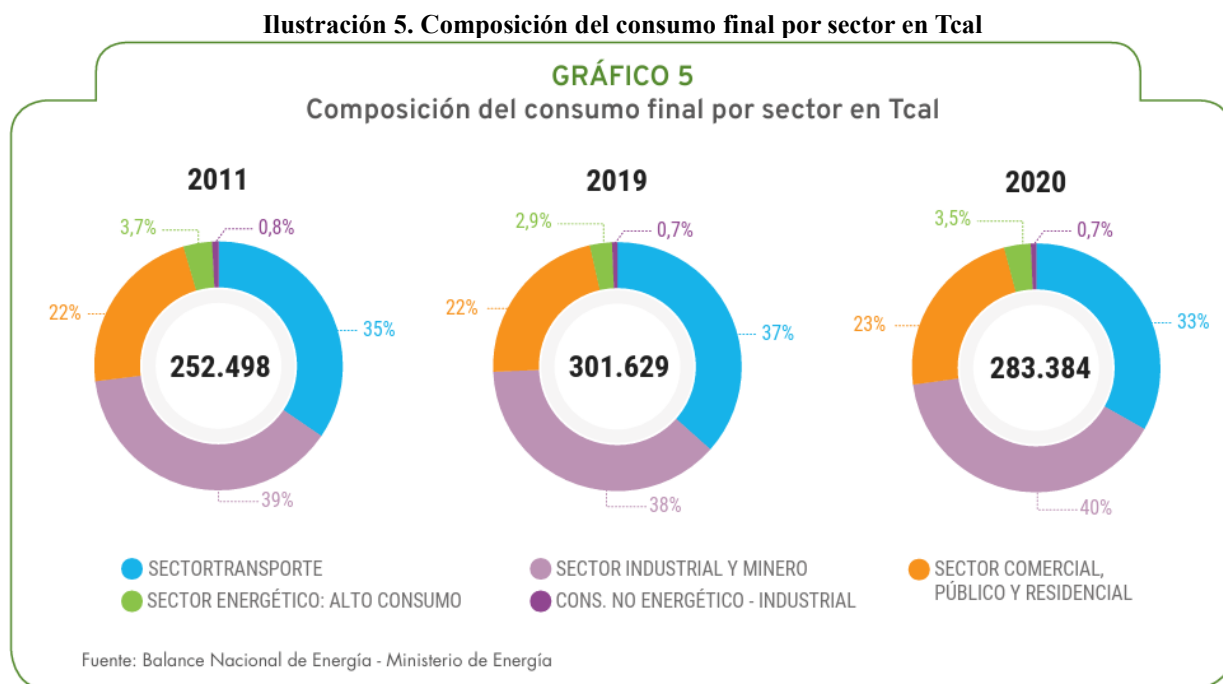
En el contexto de la matriz de energía primaria de Chile, el país ha experimentado una significativa transición hacia fuentes más sostenibles. En este sentido, la participación de las fuentes no renovables—incluyendo gas natural, carbón y petróleo—disminuyó de un 79% a un 65% en un periodo de 9 años, reflejando un cambio estructural en el abastecimiento energético nacional (Comision Nacional de Energía de Chile, 2021).

**Ilustración 4. Composición de la oferta de energía primaria por energético en Tcal**



En concordancia con el perfil productivo de Chile, caracterizado por una marcada dependencia de la actividad minera, el sector industrial y minero emerge como el principal consumidor de energía a nivel nacional, seguido en importancia por el sector transporte. Esta

distribución del consumo energético pone de manifiesto la imperiosa necesidad de focalizar los esfuerzos de transición energética en estos dos sectores estratégicos, los cuales, en conjunto, representan el 73% del consumo total del país (ver Apéndice A). En este contexto, la adopción del hidrógeno verde se posiciona como una alternativa clave para acelerar la descarbonización de la economía Chilena, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y potenciando un modelo energético más sostenible y competitivo en el largo plazo.



### Hacia Donde Deberá Mirar Chile

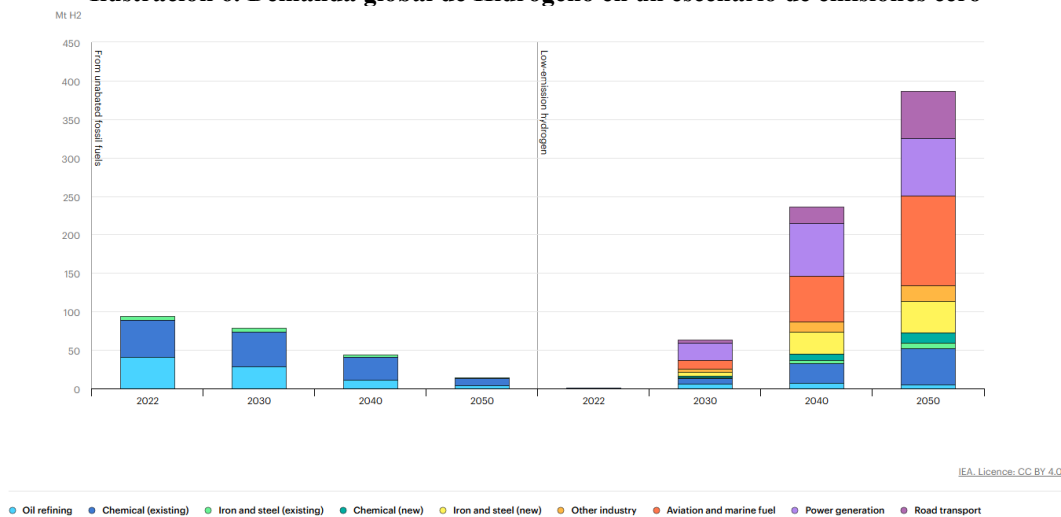
Chile se perfila como el líder mundial en la producción de hidrógeno verde al menor costo, una ventaja estratégica que lo posiciona en el epicentro de la transición energética global. Sin embargo, esta oportunidad conlleva un reto crucial: definir con sabiduría a quién dirigirá su oferta.

En su informe World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway, la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) traza un panorama ambicioso sobre la evolución de la demanda global de hidrógeno verde en el contexto de la transición energética hacia un

umbral de 1.5°C. Según sus proyecciones, el consumo de este vector energético experimentará un crecimiento exponencial, pasando de 5 millones de toneladas (Mt) en 2030 a un volumen estimado de 400 Mt en 2050 (IRENA, 2023). Este aumento responde a su papel fundamental en la descarbonización de sectores estratégicos, especialmente en la industria pesada y el transporte, donde las tecnologías actuales enfrentan limitaciones para reducir emisiones de manera eficiente. De este modo, el informe subraya la necesidad de inversiones sostenidas en infraestructura, producción y distribución para consolidar el hidrógeno verde como un pilar esencial de la matriz energética global.

Dentro de la mirada, y de acuerdo con las proyecciones de la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2023), en un mundo con emisiones cero, cerca del 46% del hidrógeno será dirigido a la industria del transporte (terrestre, aéreo y marítimo), de esta manera, Chile deberá dirigir sus esfuerzos en tener instalada toda su capacidad productiva y tecnológica para atender este mercado que se acercará a los 400 Mt/año.

**Ilustración 6. Demanda global de Hidrógeno en un escenario de emisiones cero**



Respecto a la demanda por país, Alemania lidera con una proyección de 1,5 Mt/año. En cambio, para el año 2050, serán Estados Unidos y China quienes se repartirán el liderato (Ver Apéndice B)

## **Estando a Punto**

Chile, en la producción de hidrógeno verde, basada en la electrólisis con energía renovable, enfrenta desafíos tecnológicos clave para consolidarse como un exportador global. Uno de los más críticos es la gestión del agua, especialmente en regiones áridas, donde la escasez exige innovaciones como el uso de agua de mar. Esta interacción entre tecnología, medio ambiente y política resalta la necesidad de soluciones sostenibles para garantizar su viabilidad a gran escala.

La eficiencia de las energías renovables, como la solar y eólica, es un desafío crítico en la producción de hidrógeno verde. Factores ambientales, como la acumulación de suciedad en paneles fotovoltaicos y las altas temperaturas, reducen el rendimiento de los sistemas, afectando su competitividad (Xataca Energía, 2024). En el desierto de Atacama, donde la radiación solar alcanza  $308 \text{ W/m}^2$ , el reto consiste en gestionar eficientemente esta capacidad. Por ejemplo, en el norte del país las líneas de alta transmisión se han congestionado repetidamente debido al incremento de capacidad instalada que entra en operación

Otro reto clave es la fiabilidad de los electrolizadores en condiciones extremas como el Green Hydrogen Mobile Pilot Plant (P3H2V) en Antofagasta, se han identificado problemas de rendimiento en celdas de combustible PEM debido a la presión y temperatura en altitudes de hasta 4.000 metros sobre el nivel del mar.

Por su parte, la electrólisis requiere un suministro constante de agua desmineralizada, lo que representa un desafío en regiones áridas como el norte de Chile, donde la escasez hídrica es una preocupación estructural. Se necesitan aproximadamente 10 litros de agua por cada kilogramo de hidrógeno producido, lo que plantea interrogantes sobre la viabilidad del escalamiento industrial en zonas con disponibilidad limitada de este recurso. Actualmente,

tecnologías como la desalinización de agua de mar o el aprovechamiento de aguas residuales se encuentran en etapas iniciales, y su implementación a escala comercial requiere avances en sistemas de purificación y tratamiento de agua que aún no están completamente desarrollados.

La infraestructura para la producción y distribución de hidrógeno verde enfrenta limitaciones en Chile, especialmente en regiones remotas como el desierto de Atacama, donde existe un gran potencial de generación renovable, pero una conexión limitada con los centros industriales. El rápido crecimiento de la energía solar en el norte ha generado congestión en las líneas de transmisión, dificultando la estabilidad del suministro eléctrico para los electrolizadores. Solucionar esta barrera requiere inversiones en tecnología de redes eléctricas, incluyendo el desarrollo de líneas de alta tensión más eficientes y sistemas de almacenamiento de energía (Energy Transition - The Global Energiewende, 2024).

Pasar de proyectos piloto a una producción a escala industrial es un reto significativo para Chile. El país cuenta con más de 60 iniciativas en desarrollo, pero enfrenta limitaciones tecnológicas en el tamaño y eficiencia de los electrolizadores, además de la necesidad de mejorar la durabilidad y costos de los equipos (Invest Chile Blog, 2021). En paralelo, se trabaja en la producción de derivados del hidrógeno, como el amoníaco verde, con aplicaciones en transporte marítimo y aviación. Sin embargo, la falta de capacidades locales en tecnologías de conversión y almacenamiento obliga a depender de importaciones, incrementando costos y plazos de desarrollo.

El establecimiento de un marco regulatorio robusto es clave para garantizar la seguridad en la producción, almacenamiento y uso del hidrógeno verde. Chile está desarrollando normativas como la "Hydrogen Facilities General Regulation", que establece requisitos técnicos para infraestructura, transporte y operaciones mineras. Sin embargo, la adopción de tecnologías

avanzadas de detección de fugas, almacenamiento seguro y manejo en condiciones extremas sigue siendo un desafío, ya que se requieren estándares técnicos precisos que aún están en construcción (Carey y Cía Ltda., 2024).

Estos desafíos reflejan la interacción entre innovación tecnológica, infraestructura y el esfuerzo que desde las políticas públicas debe realizar el gobierno chileno si desea consolidarse como líder en hidrógeno verde en el panorama mundial.

### **Saber Gobernar, es Saber Elegir**

La transformación energética Chilena hacia el hidrógeno verde (H<sub>2</sub>V) presenta una notable continuidad estratégica a pesar del cambio de gobierno. El análisis comparativo entre la Estrategia Nacional de Hidrógeno redactado por Juan Carlos Jobet, del gobierno de centro de Sebastián Piñera y el Plan de Acción de Hidrógeno 2023-2030 corresponde al reinante gobierno de izquierdas de Gabriel Boric, cuyo ministro de energía es Diego Pardow revela un consenso político sobre el rol fundamental del H<sub>2</sub>V en la descarbonización nacional. Ambos documentos posicionan este vector energético como elemento complementario a la electrificación directa, especialmente crucial para sectores difíciles de electrificar como minería, transporte pesado e industria química.

**Seguimos el mismo camino.** La vocación exportadora persiste como eje central, fundamentada en ventajas competitivas derivadas del excepcional potencial renovable: radiación solar en el norte y recursos eólicos en el sur. Esta consistencia política consolida la visión de Chile como futuro proveedor mundial de combustibles limpios, priorizando la atracción de consorcios internacionales pioneros (first movers) para desarrollar proyectos de escala global.

Respecto a la implementación, se mantiene una secuencia estratégica: desarrollar primero aplicaciones domésticas de gran escala—refinerías, amoníaco verde, mezcla en redes gasíferas y

maquinaria minera—para posteriormente expandirse hacia mercados internacionales. Esta progresión busca establecer ecosistemas industriales locales antes de consolidar la oferta exportable.

La arquitectura institucional refleja continuidad mediante un modelo de gobernanza interministerial. El Consejo Interministerial y las Mesas Técnicas siguen integrando diversas carteras—Energía, Economía, Medio Ambiente, Hacienda, Obras Públicas y Ciencia—asegurando coherencia con otros instrumentos de política pública como la Estrategia Climática Nacional. Esta transversalidad se extiende hacia la colaboración con gobiernos regionales, reconociendo la dimensión territorial del desarrollo energético sustentable.

**Diferencias en los Informes.** La ambiciosa declaración inicial de "instalar 5 GW de electrólisis en desarrollo o construcción al 2025" ha sido recalibrada en el nuevo documento, donde estas métricas específicas pierden protagonismo en favor de un enfoque más flexible. Esta transición conceptual no abandona la aspiración expansiva, pero reconoce implícitamente las complejidades inherentes al desarrollo de una industria emergente.

La estructura temporal también refleja un cambio paradigmático. El esquema original de tres "oleadas" secuenciales (2020-2025, 2025-2030, 2030 en adelante) con objetivos cuantitativos rígidos ha sido reemplazado por "ventanas temporales" más amplias (2023-2026 y 2026-2030) que permiten mayor adaptación a las dinámicas de mercado. Esta reformulación sugiere un reconocimiento de la naturaleza iterativa del desarrollo industrial y de las incertidumbres tecnológicas y económicas que caracterizan a este sector.

Finalmente, se observa una discontinuidad administrativa entre el Plan de Acción inicial (2020-2023) y su sucesor. El documento actual da por concluido el primer ciclo programático, sustituyéndolo por un marco estratégico más elaborado y con horizonte temporal extendido hasta

2030. Esta evolución refleja un proceso de aprendizaje institucional que ha permitido refinar los instrumentos de política pública con base en la experiencia acumulada durante la fase preliminar de implementación.

**¿Qué hay de nuevo, viejo?** El Plan de Acción evidencia un giro hacia la territorialización de la estrategia energética mediante la creación de Consejos Regionales de Hidrógeno, hojas de ruta descentralizadas y mecanismos de participación temprana con comunidades locales. Esta aproximación multiescalar reconoce la importancia del arraigo territorial como factor crítico de viabilidad y sostenibilidad de los proyectos energéticos.

La dimensión ambiental adquiere prominencia mediante el desarrollo de líneas base públicas en regiones prioritarias, integración con instrumentos de ordenamiento territorial y zonificación costera, así como la incorporación de principios de economía circular y gestión de recursos hídricos. Esta visión ecosistémica busca anticipar impactos acumulativos y garantizar la compatibilidad de los proyectos con la capacidad de carga territorial.

En el ámbito financiero, emerge un sofisticado esquema de capitalización con la "Facilidad de Financiamiento" respaldada por el Estado, proyectando movilizar aproximadamente US\$1.000 millones. Este mecanismo se complementa con incentivos tributarios, expansión de la Ley I+D, fortalecimiento del crédito tributario y la potencial implementación de un sistema piloto de comercio de emisiones que establezca señales de precio al carbono.

La dimensión social se fortalece mediante programas de capacitación técnica, políticas de equidad de género en la cadena de valor y estrategias de educación ciudadana. Esta aproximación busca democratizar los beneficios de la transición energética y construir legitimidad social para el desarrollo industrial.

Finalmente, la estrategia aborda las barreras regulatorias mediante la reforma integral de permisos sectoriales, modernización del Servicio de Evaluación Ambiental y desarrollo de marcos normativos específicos para hidrógeno y sus derivados, incluyendo estándares de calidad, seguridad, transporte, almacenamiento e infraestructura portuaria, generando así un ecosistema regulatorio propicio para la inversión y el desarrollo tecnológico.

## **Hidrógeno Verde En El Mundo**

En el escenario global de la transición energética, resulta imperativo examinar en detalle las estrategias que distintos países han diseñado para impulsar el hidrógeno verde. Este vector, concebido como un recurso de alta relevancia para la descarbonización, se ubica en el centro de los planes energéticos de diversas potencias. Así, estudiar las políticas y acciones de otras naciones no solo aporta una perspectiva comparada de los avances alcanzados y de los obstáculos enfrentados, sino que también brinda valiosas lecciones sobre cómo potenciar la adopción a gran escala de esta tecnología clave en la búsqueda de un futuro energético sostenible.

La selección de Alemania, Australia, Canadá y Japón como objeto de análisis no es fortuita. Por un lado, cada uno de estos países representa un polo de innovación y desarrollo en materia de hidrógeno, contando con recursos, capacidades tecnológicas y trayectorias institucionales diferenciadas. Por otro lado, se trata de economías con influencia significativa en el orden mundial, cuyas decisiones en torno al hidrógeno marcan tendencias y configuran dinámicas de mercado que trascienden sus fronteras. A continuación, se detallan las estrategias de estos cuatro actores, cuyos planes comparten la firme convicción de que el hidrógeno verde es un componente esencial en la construcción de una economía con bajas emisiones.

### **Alemania**

Alemania presenta una estrategia de hidrógeno que vio la luz en 2020 (Gobierno Federal Alemán, 2020) y, tras una evaluación de logros y vacíos tecnológicos, la refuerza en 2023 para impulsar con mayor determinación la transición energética basada en el uso de hidrógeno limpio (Gobierno Federal Alemán, 2023). Con este fin, plantea un marco regulatorio que favorece la certidumbre para los inversionistas y elimina barreras administrativas, de modo que los

proyectos vinculados al hidrógeno puedan desplegarse de forma más rápida y coherente (German Society for International Cooperation (GIZ) GmbH, 2023).

El Gobierno alemán tiene como meta lograr la neutralidad climática a más tardar en 2045. En este contexto, el hidrógeno verde se concibe como un eje esencial para la descarbonización de sectores altamente emisores, como la industria siderúrgica, la química, el transporte pesado y la aviación. Con la actualización de 2023, Alemania eleva de forma notable su ambición: plantea duplicar, e incluso triplicar, la capacidad de electrolizadores —apuntando a un mínimo de 10 GW para 2030— y fomentar una infraestructura de importación capaz de asegurar el abastecimiento fluido de hidrógeno y sus derivados (Instituto Español de Comercio Exterior, 2023).

La Estrategia Nacional del Hidrógeno establece un entorno propicio para la electrólisis basada en energías renovables, apuntalado por políticas de apoyo financiero y un marco regulatorio impulsor (Gobierno Federal Alemán, 2023). El objetivo se fundamenta en las economías de escala para reducir costos y, con ello, robustecer la competitividad de la industria alemana a lo largo de toda la cadena de valor del hidrógeno (electrolizadores, celdas de combustible y maquinaria asociada).

Dado que el país enfrenta limitaciones de espacio y recursos renovables, las autoridades alemanas subrayan la importancia de tejer alianzas comerciales y estratégicas con naciones productoras de hidrógeno verde (Instituto Español de Comercio Exterior, 2023). Asimismo, se prevé consolidar proyectos de importación vía gasoductos y transporte marítimo, además de establecer acuerdos de cooperación con regiones que posean un elevado potencial de generación renovable (Oriente Medio, Norte de África y otros enclaves con sobresaliente radiación solar y/o capacidad eólica).

Alemania considera prioritaria la creación de corredores de transporte específicos para hidrógeno, entre ellos la llamada “European Hydrogen Backbone” (Gobierno Federal Alemán, 2023), que aspira a más de 1.800 km de redes en territorio alemán hacia 2027/2028, con la posibilidad de reutilizar conductos de gas ya existentes. Paralelamente, se busca armonizar normas y estándares a escala europea, favoreciendo la circulación transfronteriza de hidrógeno y sus derivados (como amoníaco o metanol).

El uso del hidrógeno en la siderurgia, la refinación y la producción química cobra impulso para sustituir el carbón y otros combustibles fósiles. En el transporte, se enfatiza el potencial de reducción de emisiones en el ámbito pesado, marítimo y aéreo, con hidrógeno y sus derivados (amoníaco, combustibles sintéticos). En el sector energético, se propone la implementación de plantas de generación eléctrica compatibles con hidrógeno (H2-ready), que integren mezclas de gas natural y/o hidrógeno, a fin de brindar respaldo al sistema eléctrico durante periodos de menor disponibilidad de energías renovables (Instituto Español de Comercio Exterior, 2023).

El plan contempla ampliar incentivos y subvenciones para proyectos de infraestructura y producción de hidrógeno, por medio de programas como IPCEI, que buscan cubrir riesgos tecnológicos y de mercado para impulsar la adopción de este vector energético en la industria (Gobierno Federal Alemán, 2023). A la vez, se agilizarán procedimientos administrativos y se armonizarán disposiciones tanto nacionales como europeas, junto a la instauración de sistemas de certificación que garanticen la trazabilidad y la sostenibilidad del hidrógeno.

Se apuesta por la inversión sostenida en I+D, la especialización de la mano de obra y la promoción de carreras relacionadas con el sector energético y químico, con el fin de reforzar la competitividad alemana en tecnologías de hidrógeno. La estrategia destaca la digitalización y la

automatización de procesos, la optimización de los electrolizadores y la logística de transporte para minimizar costos y elevar la eficiencia (Instituto Español de Comercio Exterior, 2023).

Gracias a estos esfuerzos, el hidrógeno verde podría evitar la emisión de millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, al sustituir combustibles fósiles en la industria y el transporte pesado. Se espera también un efecto positivo en el crecimiento económico y la creación de empleos de alta cualificación, sobre todo en regiones que se encuentran inmersas en procesos de transición energética. Además, la diversificación de fuentes y la construcción de redes de importación robustas prometen mejorar la estabilidad del suministro, al reducir la dependencia de los combustibles fósiles y sus fluctuaciones de mercado.

Con el afán de generar sinergias, Alemania estrecha lazos con países del norte de Europa, aprovechando la energía eólica en el Mar del Norte y el Mar Báltico, pero también dirige la mirada al sur del continente y a socios fuera de la Unión Europea para expandir la producción de hidrógeno verde (Gobierno Federal Alemán, 2020). La consolidación de una economía del hidrógeno interconectada se vislumbra como clave para aprovechar el potencial de este combustible limpio y responder, al mismo tiempo, a los imperativos de competitividad y sostenibilidad.

Pese al sólido apoyo gubernamental y los recursos financieros disponibles, como lo fue la inversión de €4.6 billones por parte del IPCEI para 24 proyectos en territorio alemán (Ministerio Federal de Asuntos Económicos y Acción Climática (Alemania), 2024), persisten retos inmediatos: la coordinación con países productores de hidrógeno, la imperiosa necesidad de reducir costos y la consolidación de infraestructuras a gran escala. El panorama global, con diferentes naciones invirtiendo en hidrógeno, obliga a Alemania a mantener un liderazgo tanto tecnológico como regulatorio, impulsando la formulación de estándares de alcance internacional.

## **Australia**

Lanzó su Estrategia Nacional de Hidrógeno en 2019 (COAG Energy Council, 2019), con el propósito de forjar un sector estable y en continua evolución. En la versión actualizada de 2024 (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, 2024), el país apuesta por intensificar la cooperación entre el gobierno federal y los estatales, a fin de asegurar la incorporación eficaz del hidrógeno limpio en los distintos sectores productivos. Su objetivo central es erigirse como un actor líder en la industria, respaldado en su notable experiencia exportadora de recursos energéticos y en su sobresaliente potencial renovable.

Para impulsar la descarbonización en industrias clave, el gobierno australiano se centra en la producción de amoníaco verde, la generación de acero libre de emisiones y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles en los procesos industriales y en el transporte de carga pesada (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, 2024). A la par, se contempla la inclusión de comunidades locales, con el fin de impulsar el empleo en zonas mineras en transición y de promover el respeto por los derechos e intereses de las comunidades aborígenes en la ubicación de las infraestructuras.

Australia, consciente de su competitividad, procura influir en la configuración del comercio internacional y de los mercados globales de hidrógeno, presentándose como un proveedor confiable y con altos estándares ambientales. Asimismo, asume la neutralidad de emisiones para 2050 como un objetivo que entrelaza la expansión de las energías renovables, la incentivación de la inversión privada y el progreso en I+D (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, 2024). Todo esto tiene lugar a través de planes sectoriales y regionales que integran tanto a entidades federales como locales.

La disponibilidad de recursos eólicos y solares de clase mundial, unida a la cercanía con economías de la región Asia-Pacífico, otorga a Australia ventajas para ubicarse como un abastecedor competitivo de hidrógeno y productos derivados. Con miras a acelerar la producción y la reducción de costos, el gobierno invierte en Hubs industriales de hidrógeno limpio como lo es el Asian Renewable Energy Hub (AREH) que producirá 1,6 millones de toneladas de hidrógeno verde o 9 millones de toneladas de amoníaco verde al año, lo que lo convierte en uno de los proyectos de hidrógeno verde más grandes del mundo (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, 2024).

Los acuerdos que Australia ha establecido con mercados como Alemania, Japón, Corea del Sur, Singapur y el Reino Unido subrayan la voluntad de desarrollar e intercambiar tecnologías de bajas emisiones, al igual que de promover un mercado global robusto en torno al hidrógeno. En el mediano plazo, el país pretende exportar cerca de 0.2 millones de toneladas de hidrógeno, con la expectativa de escalar a 1.2 millones antes de 2030 (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, 2024), lo cual requerirá expandir las fuentes renovables y fortalecer la logística asociada.

En ese mismo orden, Australia fomenta la integración de los Hubs de hidrógeno con zonas industriales estratégicas, para aumentar la sinergia en producción, abastecimiento y el surgimiento de empleos calificados, es así, que sigue avanzando los trámites administrativos para lograr crear el Western Green Energy Hub (WGEH) que sería un centro híbrido de energía renovable con capacidad eólica y solar con una potencia combinada de 70GW capaces de electrolizar 3,5 millones de toneladas de Hidrógeno al año (Xataka Energía, 2025). Actualmente el proyecto pasó a etapa de revisión ambiental no apelable con plazo máximo de hasta 10

semanas (Environmental Protection Authority, 2024), y se encuentra a la espera del fallo por parte del Environmental Protection Authority de Australia.

A nivel operativo, se establecen evaluaciones periódicas de la infraestructura, abarcando tanto ductos y puertos como estaciones de repostaje, a fin de solventar cualquier posible restricción en el suministro. Además, se reconocen nichos de oportunidad en la fabricación local de tecnología de hidrógeno, como pilas de combustible y componentes para sistemas de producción y transporte (Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, 2024). Este enfoque se potencia gracias a la larga tradición de la industria australiana en ámbitos mineros y navales, con lo cual es factible erigir una cadena de valor en torno al hidrógeno.

La estrategia australiana pondera el papel del hidrógeno para reforzar la transición energética interna, sirviendo como vector de almacenamiento estacional y reemplazo de combustibles fósiles en la generación termoeléctrica (Instituto Español de Comercio Exterior, 2024).

## **Canadá**

Se sumó a la transformación energética con la Estrategia de Hidrógeno que introdujo en 2020 (Government of Canada, 2020), la cual apunta a modernizar su sector energético y a complementar la oferta de petróleo y gas con un nuevo pilar de hidrógeno libre de carbono. Parte fundamental de este esfuerzo reside en integrar el hidrógeno en la matriz eléctrica y, de modo particular, en la industria petroquímica, la refinación y el transporte de larga distancia.

Reconocido como un líder global en la industria, el país ha desarrollado una infraestructura robusta impulsada por la creciente demanda de soluciones energéticas limpias. En 2015, el sector generó \$220 millones en ingresos, con una fuerte orientación hacia la investigación y el desarrollo (I+D), representando \$173 millones en inversiones. Las

aplicaciones principales incluyen transporte (vehículos, autobuses, trenes y barcos), generación de energía estacionaria y respaldo, así como infraestructura de suministro de hidrógeno. La industria cuenta con 1.785 empleados y ha establecido 98 alianzas estratégicas y 222 asociaciones de investigación para fortalecer la colaboración entre el sector privado, instituciones académicas y organismos gubernamentales (Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association, 2016).

Una de las apuestas principales es desarrollar infraestructura de suministro y distribución de hidrógeno. De esta manera, se instauran corredores de transporte que soportan a flotas de vehículos pesados impulsados por pilas de combustible (Government of Canada, 2020), se impulsan redes de abastecimiento y se establecen planes para dotar a zonas industriales y puertos de capacidades robustas de logística y almacenamiento.

Bajo la misma línea, se fomenta la adopción del hidrógeno en numerosos segmentos de la economía, con el fin de forjar un mercado interno que proporcione escala y estabilidad a largo plazo, lo que abre oportunidades para usuarios industriales y de transporte, así como para los sectores de calefacción y generación eléctrica.

También se contempla la vertiente exportadora de este combustible. Canadá persigue la meta de ser un proveedor global de hidrógeno (Good New Energy, 2023), confiando en la solidez de sus tratados comerciales y en su historial de confiabilidad. El país se percibe asimismo como referente mundial en el desarrollo de pilas de combustible y tiene un rico ecosistema de propiedad intelectual y empresas dedicadas al hidrógeno, lo que le facilita la penetración en el mercado internacional.

Para acelerar la adopción del hidrógeno como vector energético clave, la estrategia se sustenta en ocho pilares de acción fundamentales (Government of Canada, 2020). Estos incluyen

la formación de alianzas estratégicas con el sector privado y la comunidad científica, la reducción de riesgos para la inversión mediante políticas de largo plazo y mecanismos de financiamiento, así como el impulso a la investigación y desarrollo tecnológico en cada segmento de la cadena de abastecimiento. Asimismo, se prioriza la modernización del marco regulatorio para garantizar seguridad jurídica y eliminar barreras normativas que obstaculicen su implementación. La estrategia también contempla la integración progresiva del hidrógeno en la matriz energética, respaldada por políticas facilitadoras que incentiven su adopción en sectores estratégicos. Paralelamente, se promueve la concientización sobre la seguridad del hidrógeno, fortaleciendo la confianza pública en su uso y fomentando su aceptación. Adicionalmente, se desarrollan planes de acción específicos por región, adaptados a las capacidades productivas y necesidades locales, con el propósito de optimizar su implementación y escalabilidad. Finalmente, la estrategia busca posicionar a Canadá como un actor global en la exportación de hidrógeno, estableciendo un marco normativo que garantice su competitividad en los mercados internacionales.

Con respecto a la dinámica global, Canadá ha identificado como destinos prioritarios a Estados Unidos, Japón, Corea del Sur, China y la Unión Europea, dado que presentan una demanda al alza de combustibles menos contaminantes (Government of Canada, 2024). En el ámbito multilateral, tiene un rol activo en la Agencia Internacional de Energía y la Alianza Internacional para el Hidrógeno y las Pilas de Combustible, cooperando en aspectos regulatorios, investigación y difusión de buenas prácticas (Government of Canada, 2020).

Con el propósito de armonizar iniciativas entre provincias y con los mercados foráneos, Canadá se centra en definir planes regionales y localizar “Hubs” de producción (Government of Canada, 2024). Ello involucra a distintas administraciones, a empresas interesadas en

manufactura y a actores comunitarios, articulando un modelo de gobernanza que potencie la competitividad e impulse la adopción de tecnologías de hidrógeno.

## **Japón**

Ha desarrollado un enfoque progresivo y estructurado para la adopción del hidrógeno como vector energético clave, alineado con su objetivo de neutralidad de carbono para 2050. La evolución de esta estrategia se ha plasmado en distintas publicaciones oficiales. En diciembre de 2017, el Consejo Ministerial de Energía Renovable, Hidrógeno y Asuntos Relacionados lanzó la Estrategia Básica del Hidrógeno (Ministerial Council on Renewable Energy, 2017), estableciendo el hidrógeno como una pieza central en la transición energética. En marzo de 2019, se publicó la Hoja de Ruta Estratégica para el Hidrógeno y las Pilas de Combustible (Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council, 2019), definiendo fases concretas para su implementación a largo plazo. Posteriormente, en junio de 2021, la Estrategia de Crecimiento Verde (Cabinet Secretariat Ministry of Economy, Trade and Industry, 2021) amplió el papel del hidrógeno en la economía japonesa, consolidando su relevancia en la competitividad industrial. En octubre de 2021, el Sexto Plan Estratégico de Energía (Government of Japan, 2021) reforzó la integración del hidrógeno en la matriz energética, y en junio de 2023, Japón actualizó su Estrategia Básica del Hidrógeno (The Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues, 2023), complementada con la promulgación de la Ley de Promoción del Hidrógeno (Agency for Natural Resources and Energy, 2024), asegurando un marco normativo para su desarrollo.

Japón entiende el hidrógeno como una solución multifacética, abordando desafíos en seguridad energética, reducción de emisiones y competitividad industrial. Enfrentando una dependencia del 94% de energía importada (Ministerial Council on Renewable Energy, 2017), el país busca diversificar su matriz energética mediante el uso del hidrógeno en movilidad,

generación de energía y procesos industriales (Agency for Natural Resources and Energy, 2023).

La estrategia también enfatiza el desarrollo de cadenas de suministro internacionales, con proyectos en Australia y Medio Oriente para la producción y transporte de hidrógeno licuado, así como el uso de amoníaco y metano como vectores energéticos (The Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues, 2023).

Uno de los pilares clave es la reducción de costos del hidrógeno, con el objetivo de alcanzar un precio de 30 yenes/Nm<sup>3</sup> para 2030 y de 20 yenes/Nm<sup>3</sup> en el largo plazo (Agency for Natural Resources and Energy, 2023). Para ello, Japón ha impulsado la adopción de pilas de combustible en el transporte, estableciendo metas ambiciosas para 800,000 vehículos de hidrógeno en 2030 y la expansión de estaciones de servicio de hidrógeno (Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council, 2019). En el sector industrial, se busca reemplazar el hidrógeno gris (producido con combustibles fósiles) por hidrógeno verde, fomentando su uso en la producción de acero y químicos (The Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues, 2023).

Desde el punto de vista regulatorio, la Ley de Promoción del Hidrógeno ha creado incentivos para el desarrollo de infraestructura y ha sentado las bases para el comercio internacional del hidrógeno (Agency for Natural Resources and Energy, 2024). Japón también ha liderado esfuerzos en cooperación internacional, promoviendo la estandarización global del hidrógeno a través de foros como el Hydrogen Energy Ministerial Meeting (Agency for Natural Resources and Energy, 2023).

El Sexto Plan Estratégico de Energía de 2021 estableció que el hidrógeno debe representar una fracción creciente del suministro eléctrico, inicialmente a través de la cogeneración con gas natural, con una meta de generar 1 GW con hidrógeno para 2030 y

alcanzar 15-30 GW en 2050 (Government of Japan, 2021). Para ello, Japón ha invertido en tecnologías innovadoras, como turbinas de gas de hidrógeno y almacenamiento de energía en estado líquido (The Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues, 2023).

Es así, que, la estrategia de hidrógeno en Japón combina política industrial, regulación, incentivos fiscales y cooperación internacional, con un enfoque en la reducción de costos, el escalamiento de la infraestructura y la atracción de inversión privada (Agency for Natural Resources and Energy, 2023). A través de un marco legal consolidado y una inversión en innovación tecnológica, Japón busca liderar la economía global del hidrógeno, garantizando su competitividad y contribuyendo a la transición energética mundial (The Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues, 2023)

### **Estrategias Nacionales de Competitividad**

Cada país ha diseñado una estrategia diferenciada para impulsar la economía del hidrógeno, alineando sus fortalezas y recursos con sus objetivos de desarrollo. Alemania prioriza el marco regulatorio y la infraestructura, sentando las bases para una transición energética estructurada. Australia enfoca sus esfuerzos en la exportación y la cooperación internacional, consolidándose como un proveedor clave en el mercado global. Canadá apuesta por el fortalecimiento de capacidades y la integración regional, promoviendo sinergias en su industria energética. Japón, por su parte, lidera en innovación tecnológica y expansión del mercado, posicionándose como un referente en el desarrollo y comercialización de soluciones basadas en hidrógeno.

## **Sí, Sí, Sí, Colombia**

Con el propósito de diversificar su matriz energética y acelerar la transición hacia una economía baja en carbono, Colombia ha avanzado de manera progresiva en la regulación del hidrógeno verde. El marco normativo comenzó con la Ley 1715 de 2014, que promovió el desarrollo de FNCE, estableciendo incentivos para su inversión y uso eficiente (Congreso de Colombia, 2014). Posteriormente, la Ley 2099 de 2021 amplió este marco, integrando formalmente el hidrógeno verde y azul como FNCE, además de fortalecer los incentivos fiscales y tributarios para su producción y uso (Congreso de Colombia, 2021). En 2022, el Decreto 1476 reglamentó aspectos clave de la Ley 2099, estableciendo mecanismos específicos para fomentar la innovación, producción y distribución del hidrógeno (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2022). Paralelamente, la Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia, publicada en 2021, delineó estrategias para consolidar la industria del hidrógeno con metas a 2030 y 2050 (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2021), destacando la necesidad de desarrollo tecnológico y la creación de mercados para su consumo interno y exportación. Asimismo, el CONPES 4075 de 2022 incluyó el hidrógeno dentro de la estrategia de transición energética del país, resaltando su papel en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y en la modernización del sector energético (Departamento Nacional de Planeación, 2022). Finalmente, la Resolución 40045 de 2022 estableció el marco operativo del Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente de la Energía (FENOGE), asegurando recursos para proyectos de hidrógeno verde (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2022).

### **¿Y Cómo Es La Energía En Colombia?**

La matriz energética de Colombia se compone de dos dimensiones fundamentales: la matriz eléctrica, que abarca la generación de electricidad, y la matriz energética total, que engloba todas las fuentes de energía utilizadas en el país, incluyendo combustibles para el transporte, la industria y el consumo doméstico. Esta distinción resulta esencial para comprender las dinámicas del sector energético y su impacto en el desarrollo económico y ambiental del país.

Colombia es reconocida internacionalmente por la limpieza de su matriz eléctrica, debido a su alta dependencia de la hidroelectricidad. Aproximadamente el 70% de la electricidad generada en el país provenía de fuentes hídricas en el 2018, aprovechando su abundancia de ríos y una topografía favorable (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019). Sin embargo, esta proporción es variable y puede alcanzar hasta un 85% en años húmedos, mientras que, en períodos de sequía, como los provocados por el fenómeno de El Niño, la generación hidroeléctrica se reduce, aumentando la participación de fuentes térmicas como lo son el gas natural y carbón y su peso es del 30% de matriz.

A diferencia de la matriz eléctrica, la matriz energética total de Colombia mantiene una alta dependencia de combustibles fósiles. En 2023, más del 78% de la demanda energética fue cubierta por petróleo, gas natural y carbón, recursos fundamentales para sectores como el transporte, la industria y la generación térmica (Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, 2025). Aunque la electricidad desempeña un papel relevante, su participación en el consumo total de energía es limitada, representando cerca del 17%.

Esta realidad subraya la necesidad de que la transición energética en Colombia trascienda el ámbito de la generación eléctrica y se enfoque en la descarbonización del transporte y la industria, sectores donde la penetración de energías limpias sigue siendo incipiente. Para avanzar en este proceso, es fundamental desarrollar infraestructura, incentivos y regulación que permitan

la integración de tecnologías sostenibles en toda la cadena de valor energética del país (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2021).

### ¡Todos Caben!

Colombia ha establecido directrices estratégicas para garantizar que la expansión del hidrógeno verde se desarrolle bajo un enfoque participativo e inclusivo, promoviendo la integración de actores del sector público, privado y la sociedad civil. Este enfoque busca no solo impulsar la inversión y la innovación, sino también asegurar que la transición energética genere beneficios equitativos y sostenibles para el país.

En este contexto, la Hoja de Ruta del Hidrógeno y otras regulaciones clave han definido una serie de mecanismos de participación que facilitan la coordinación intersectorial, fomentan la articulación entre empresas y organismos gubernamentales, y garantizan espacios de consulta para la sociedad civil. Estos mecanismos permiten fortalecer el ecosistema del hidrógeno, promoviendo un desarrollo alineado con los objetivos de competitividad, sostenibilidad e inclusión social.

**Tabla 3. Hidrógeno Verde, Un proceso Participativo (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2021)**

Herramienta	Desarrollo
Mesas de trabajo y Grupos Técnicos	Se crearán mesas de trabajo con la industria y otras partes interesadas para diseñar un sistema de garantías de origen y certificaciones del hidrógeno. Se promueve la participación de instituciones públicas y empresas privadas en los principales grupos de trabajo internacionales relacionados con el hidrógeno, para adoptar mejores prácticas.
Fomento de la Cooperación Internacional y Regional	Se establecerán acuerdos internacionales con otros países para compartir conocimientos, tecnología y experiencias en hidrógeno. Se fomenta el diálogo con países cercanos para impulsar la cooperación regional en torno al hidrógeno.
Fortalecimiento de Capacidades Locales e Industriales	Se ha impulsado la creación de la Asociación Colombiana de Hidrógeno. Se promueve la investigación y desarrollo (I+D+i) en tecnologías de hidrógeno.
Involucramiento de la Comunidad y el Sector Educativo	El Ministerio de Trabajo y el SENA desarrollarán programas de formación para crear una fuerza laboral calificada.

	Se llevarán a cabo campañas de divulgación y socialización con actores del sector público, privado y académico para sensibilizar sobre el potencial del hidrógeno verde en Colombia
--	---

## Impuesto al Carbono

El Impuesto Nacional al Carbono, establecido en Colombia mediante la Ley 1819 de 2016 (Congreso de Colombia, 2016), busca internalizar los costos ambientales del uso de combustibles fósiles y financiar iniciativas de mitigación del cambio climático. Su implementación responde a los compromisos de Colombia en el Acuerdo de París (2015), orientados a reducir un 51% de las emisiones de GEI para 2030 y lograr la neutralidad de carbono en 2050 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2021).

El impuesto entró en vigor el 1 de enero de 2017, y su reglamentación fue perfeccionada mediante el Decreto 926 de 2017 (Presidencia de la Republica de Colombia, 2017). El Impuesto Nacional al Carbono grava el contenido de carbono de los combustibles fósiles utilizados en procesos de combustión. Los combustibles afectados incluyen: gasolina (corriente y extra), diésel (ACPM), queroseno y jet fuel, fuel oil, gas licuado de petróleo (GLP) para uso industrial y gas natural en sectores petroquímicos y de refinación. El gravamen se calcula en función de las toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $tCO_2e$ ) emitidas por cada combustible, utilizando factores de emisión establecidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

En 2017, el Impuesto Nacional al Carbono se estableció con una tarifa inicial de \$15.000 por tonelada de  $CO_2$  equivalente ( $tCO_2e$ ), lo que representaba una tarifa de \$135 para la gasolina y \$152 para el ACPM (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2017). Para garantizar su efectividad a largo plazo, la tarifa se ajusta anualmente conforme a la inflación medida por el Índice de Precios al Consumidor (IPC). Este impuesto recae sobre productores,

importadores y distribuidores de combustibles fósiles, quienes incorporan este costo en el precio de venta, trasladándolo al consumidor final como parte del mecanismo de internalización de los costos ambientales.

### **¿Por Qué no hay Cuotas Aún?**

El hidrógeno verde en Colombia aún se encuentra en una fase incipiente, centrada en investigación y proyectos piloto. Para que el sector alcance una madurez suficiente que permita la implementación de mecanismos regulatorios como cuotas obligatorias, es necesario consolidar su desarrollo tecnológico, reducir costos y ampliar la infraestructura de producción y distribución.

En lugar de establecer obligaciones regulatorias, el gobierno ha optado por una estrategia basada en incentivos y cooperación internacional, fortaleciendo alianzas con países como Alemania y Francia. Este enfoque busca aprovechar el conocimiento y financiamiento extranjero para acelerar la adopción del hidrógeno verde en la matriz energética nacional.

Uno de los principales retos es el alto costo de producción, lo que limita su competitividad frente a combustibles tradicionales. Sin embargo, se proyecta que el hidrógeno verde se vuelva económicamente viable entre 2027 y 2030. Adicionalmente, la baja demanda interna dificulta la justificación de cuotas obligatorias en esta etapa, haciendo necesario un estímulo progresivo del mercado antes de imponer regulaciones que puedan frenar la inversión y el desarrollo del sector.

### **¿Y la Platica Qué?**

El gobierno ha implementado mecanismos de apoyo que reducen barreras, fomentan la innovación y atraen inversión privada e internacional, acelerando la adopción del hidrógeno verde en sectores estratégicos. Con fondos públicos, incentivos fiscales y financiamiento híbrido,

Colombia avanza en la construcción de un ecosistema competitivo alineado con sus objetivos de descarbonización y transición energética.

Los fondos públicos vienen a través del FENOGGE, cuya cobertura fue ampliada por la Ley 2099 de 2021 (Congreso de Colombia, 2021), se han destinado más de COP \$6.500 millones para el estudio de proyectos de hidrógeno de bajas emisiones (Ministerio de Minas y Energía, 2022). Además, el Presupuesto General de la Nación y el Sistema General de Regalías pueden cofinanciar proyectos de generación, distribución y comercialización de hidrógeno verde, facilitando su integración en la matriz energética del país (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2021).

Pero no todo el esfuerzo lo podía hacer Colombia, y, para tal efecto, el gobierno nacional determino disminuir la carga impositiva para las inversiones en Hidrógeno Verde así (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2021):

- Exención de derechos arancelarios para la importación de tecnología.
- Exclusión del IVA en bienes, equipos y maquinaria destinados a la producción de hidrógeno verde a través de toda la cadena de abastecimiento.
- Depreciación acelerada que puede ser efectiva al 100% en un periodo de entre 3 a 15 años. Esto permitiría mejorar la recuperación de la inversión vía descuento en el impuesto de renta de hasta 11% por tres años.
- Dedución del 50% en el impuesto de renta sobre inversiones en proyectos de hidrógeno, lo que se refleja en un descuento en el impuesto de renta de hasta el 17,5%.

Así mismo, se han optado por mecanismo mixtos que permitan atraer la capital nacional e internacional como lo son préstamos de bajo interés. En este sentido se han anunciado

inversiones de parte de la Unión Europea (Universidad Externado de Colombia, 2024) o la firma de un convenio entre la Financiera de Desarrollo Nacional (FDN), Bancoldex y Grupo Bicentenario (Financiera de Desarrollo Nacional de Colombia, 2024).

Respecto a los bonos verdes, el gobierno manifiesta que aún se encuentran en etapa de evaluación, así mismo con los proyectos de Transición Energética y Reconversión Industrial.

### **¿Dónde Ubicamos Los Proyectos?**

La Hoja de Ruta del Hidrógeno establece que los municipios deben integrar en sus Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) las zonas aptas para el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2021). Esta disposición se sustenta en la Ley 1715 de 2014, que reconoce la producción y utilización de FNCER como de utilidad pública e interés social, otorgándoles prioridad en materia de planificación territorial (Congreso de Colombia, 2014).

Además, el marco regulatorio contempla medidas para agilizar la ejecución de proyectos, como la simplificación de trámites administrativos, la reducción de barreras regulatorias, la aprobación conjunta de proyectos y la adaptación de normativas ambientales para facilitar la obtención de permisos.

Si bien no se establecen concesiones o arrendamientos específicos de terrenos como si lo estableció Chile, las entidades territoriales están llamadas a facilitar la localización de estos proyectos dentro de sus planes de ordenamiento.

**Según el Sol.** Colombia cuenta con regiones de alta radiación solar que representan una oportunidad estratégica para el desarrollo de energía fotovoltaica. Respecto a la cantidad de horas sol al día, Uribia, con 8,4, es el municipio que encabeza la lista como representante de la Guajira (Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, 2017). El norte del Cesar, con

valores que oscilan entre 7 y 9 horas de sol diarias (Ver Apéndice C), lo que lo convierte en una región clave para la expansión de proyectos solares. La Orinoquía, con énfasis en Vichada y Arauca, zonas que registran entre 6 y 7 horas de sol al día, favoreciendo su integración en la matriz renovable. Departamentos como Tolima, Huila, Antioquia y los Santanderes, que presentan una radiación solar de 5 a 7 horas diarias, ofreciendo un potencial significativo para la generación fotovoltaica.

**Tabla 4. Top 10 de las ciudades con mayor horas sol promedio interanual día**

Municipio	Departamento	Promedio HdS día
Uribe	La Guajira	8.4
Puerto Carreño	Vichada	8.4
Maicao	La Guajira	8.1
Riohacha	La Guajira	7.5
San Andrés	San Andrés y Providencia	7.3
Valledupar	Cesar	7.2
Arauca	Arauca	7.0
Neiva	Huila	6.9
Villavicencio	Meta	6.8
Cúcuta	Norte de Santander	6.7

**Según el Viento.** “Desde una perspectiva anual, las mayores densidades ( $\geq 1.000 \text{ W/m}^2$ ) se observan sobre el mar Caribe, litoral de Bolívar, Atlántico y Magdalena, así como en el norte de La Guajira y sectores de montaña entre el Nudo de los Pastos y el Macizo Colombiano, en límites entre Nariño y Cauca” (Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, 2017)

Mientras que los valores de la densidad eólica en la zona caribe oscilan entre los  $27 \text{ W/m}^2$  y  $216 \text{ W/m}^2$ , La Guajira, al interior del continente, presenta valores alrededor de  $1728 \text{ W/m}^2$  durante todo el año valores únicamente alcanzados por las mayores elevaciones del macizo colombiano desde Nariño al Quindío con valores cercanos a los  $1.300 \text{ W/m}^2$  (Ver Apéndice D)

## **Potencial HUB Hidrógeno Verde en Colombia**

La selección de zonas para HUB de hidrógeno verde requiere que se considere abundancia de energía solar y eólica, infraestructura logística y acceso a mercados. Se propone a La Guajira y Cartagena como las regiones más idóneas.

**En la Guajira Excepcional.** confluye abundancia de recursos solares y eólicos configurándola un escenario de incomparable viabilidad productiva. Las mediciones consolidadas evidencian niveles de irradiación que oscilan entre 5.5-6.0 kWh/m<sup>2</sup>/día (Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, 2017), constituyendo los índices más elevados del territorio colombiano y posicionando la región como un enclave óptimo para el despliegue de infraestructura fotovoltaica destinada a la alimentación de sistemas electrolizadores. Complementariamente, se registra velocidades de viento que fluctúan entre 8-12 m/s a 80 metros de altura (Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, 2017), magnitudes que, aunadas al potencial eólico identificado por la UPME —estimado en 25 GW para generación terrestre y hasta 50 GW para instalaciones offshore—, posibilitan la implementación de sistemas híbridos solar-eólicos caracterizados por sus reducidos costos operativos, incrementando significativamente los coeficientes de eficiencia y la posición competitiva del hidrógeno verde producido en esta región.

La posición geoestratégica y la infraestructura logística preexistente en La Guajira constituyen activos diferenciales que potencian su idoneidad para la exportación de hidrógeno verde y sus derivados hacia mercados internacionales. La proximidad a enclaves portuarios de relevancia como Puerto Bolívar y Riohacha facilita la articulación de cadenas logísticas orientadas principalmente hacia Europa y Estados Unidos, regiones caracterizadas por una

demanda creciente de hidrógeno verde y productos derivados de valor agregado como amoníaco y metanol.

Si bien actualmente no se registran instalaciones operativas dedicadas específicamente a la producción de hidrógeno verde en La Guajira, la región ha sido identificada por instituciones de reconocido prestigio internacional como Fraunhofer ISE (Fraunhofer ISE, 2024) y la UPME como un HUB potencial de excepcional viabilidad para el desarrollo de esta industria. La progresiva consolidación del sector energético renovable constituye un indicador prospectivo de significativa relevancia: en enero de 2025, se anunciaron 17 proyectos eólicos en la región (RTVC Noticias, 2025), mientras que en febrero del mismo año, la ronda offshore culminó con la nominación de 69 áreas destinadas a la generación eólica marina (dataiFX.com, 2025), fortaleciendo sustancialmente la infraestructura esencial para la implementación de sistemas de producción de hidrógeno verde a escala industrial.

**Cartagena, Garantía de futuro.** emerge como epicentro estratégico para el desarrollo de la economía del hidrógeno verde, sustentada en la disponibilidad de recursos energéticos renovables y viabilidad operativa. La región caribeña colombiana (Ver Apéndice E), presenta índices de radiación solar privilegiados entre 4.8-5.5 kWh/m<sup>2</sup>/día (Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia, 2017), constituyendo un activo diferencial para la implementación de infraestructura fotovoltaica, como lo evidencia el proyecto piloto de Ecopetrol con sus 270 paneles solares (Ecopetrol, 2022). Si bien la velocidad del viento no alcanza la magnitud registrada en La Guajira, este factor no representa una limitación determinante sino una oportunidad para la implementación de modelos energéticos híbridos o esquemas de interconexión regional que optimicen el aprovechamiento integral de los recursos disponibles.

El ecosistema infraestructural preexistente consolida significativamente la propuesta de valor de Cartagena, donde su puerto establece una ventaja competitiva diferencial al proporcionar capacidades logísticas bidireccionales para la exportación de hidrógeno verde y sus derivados, así como para la importación de tecnología especializada. Paralelamente, la presencia de la Refinería de Ecopetrol configura un mercado interno inmediato con una demanda aproximada de 140,000 toneladas anuales de hidrógeno gris a nivel nacional (La Republica, 2024), estableciendo el fundamento para una estrategia de sustitución progresiva.

La materialización de precedentes operativos y el compromiso institucional manifiesto elevan sustancialmente la viabilidad del proyecto, evidenciados por la operacionalización desde 2022 de un piloto de hidrógeno verde con capacidad de 50 kW y producción de 20 kg/día. El anuncio realizado en diciembre de 2024 respecto a la construcción de una planta con capacidad productiva de 800 toneladas anuales, catalogada como la más grande de América Latina (Presidencia de Colombia, 2024), refuerza no solo el compromiso institucional sino también la confianza en su viabilidad económica a escala industrial.

### **En Colombia, ¿Quién Necesita el Hidrógeno Verde?**

Para 2050, según la hoja de ruta del Hidrógeno Verde en Colombia, la demanda interna de hidrógeno verde en Colombia se estima en aproximadamente 1.850 kilotoneladas (kt), con el sector transporte como principal consumidor. Se prevé que este sector absorba el 64% de la demanda total (1.180 kt), impulsado por la adopción de hidrógeno en transporte aéreo, marítimo y terrestre, segmentos donde la descarbonización enfrenta mayores desafíos.

En el sector industrial, los principales demandantes serán las industrias de fertilizantes, minería y siderurgia, con la refinación consolidándose como el subsector con mayor consumo. Por su parte, en el sector eléctrico, la participación del hidrógeno será limitada, representando

apenas el 2% de la demanda total (37 kt en 2050), reflejando su uso más como un respaldo energético que como una fuente primaria de generación.

Asimismo, se proyecta que un 40% de la demanda total (740 kt) estará destinada a la producción de derivados de bajas emisiones, como amoníaco y combustibles sintéticos. El amoníaco verde tendrá aplicaciones en la producción de fertilizantes y el transporte marítimo, mientras que los combustibles sintéticos jugarán un papel clave en la aviación, un sector con opciones limitadas de descarbonización.

A corto plazo, la demanda de hidrógeno de bajas emisiones se estima en 120 kt para 2030, con un crecimiento moderado impulsado por la refinación de combustibles, la producción de fertilizantes y el inicio de su uso en el transporte pesado (autobuses y camiones) a partir de 2026. Estas proyecciones resaltan el papel del hidrógeno verde en la transición energética de Colombia y su potencial para transformar sectores estratégicos de la economía.

## **Y ¿Cómo Vamos?**

El desarrollo del hidrógeno verde en Colombia avanza mediante proyectos pioneros que, aunque incipientes, establecen precedentes cruciales para la descarbonización e innovación tecnológica. La generación, principalmente en fase piloto, es liderada por corporaciones como Ecopetrol y Promigas, mientras el país implementa simultáneamente estrategias enfocadas en resolver los retos logísticos de transporte y expandir las aplicaciones industriales y comerciales de este vector energético, componentes esenciales para consolidar un ecosistema sostenible que garantice su viabilidad económica futura.

En el contexto del Green Hydrogen Summit Chile LAC 2023—evento auspiciado por CORFO y el Ministerio de Energía chileno, con el respaldo técnico del programa H2Uppp alemán—se han presentado los portafolios de proyectos colombianos (Ministerio de Minas y

Energía de Colombia, 2023). Estas iniciativas comprenden desde aplicaciones en movilidad sostenible hasta el desarrollo de infraestructura logística para exportación, posicionando a Colombia como un actor emergente con ventajas competitivas en la economía global del hidrógeno.

Ecopetrol y su ecosistema de alianzas estratégicas lideran el desarrollo de proyectos en los segmentos de movilidad y refinación. El Parque de Movilidad del Caribe, establecido en Cartagena, implementará hidrógeno verde generado mediante tecnología fotovoltaica para aplicaciones en sistemas de transporte urbano. Paralelamente, las iniciativas denominadas Halo y Aura, situadas en Cartagena y Barrancabermeja respectivamente, están diseñadas para una producción de 8,7 kT/año de hidrógeno verde, destinado primordialmente al abastecimiento de la Refinería de Cartagena, con un modelo de negocio que contempla la comercialización de excedentes a terceros. En la capital, el Proyecto de Transporte Público Masivo con Hidrógeno suministrará combustible a una unidad de transporte con capacidad para 50 pasajeros en el sistema Transmilenio, bajo un contrato de operación de 14 años.

La Transportadora de Gas Internacional (TGI) está implementando proyectos críticos en infraestructura y distribución. Su iniciativa piloto de inyección de hidrógeno al 10% en redes de gas natural busca descarbonizar la movilidad urbana en los principales centros metropolitanos latinoamericanos. Adicionalmente, TGI ha avanzado a la fase de factibilidad para la construcción de un HUB logístico de hidrógeno en la región Caribe colombiana, con una capacidad proyectada de 2,14 GW en electrólisis y estimaciones de reducción en costos de producción hasta 1,5 USD/kg H<sub>2</sub> para 2050, lo que consolidaría a Colombia como proveedor estratégico de hidrógeno verde en mercados internacionales.

## Ilustración 7. Proyectos de Hidrógeno Verde por fase de cadena de abastecimiento



AES Colombia, por su parte, está desarrollando el proyecto Cluster Jemeiwaa Kai, una infraestructura eólica en el departamento de La Guajira con 1,1 GW de capacidad instalada, optimizada para la producción y exportación de 800 kT de amoníaco verde. Este proyecto, que ya ha obtenido licencia ambiental para un segmento significativo de su capacidad, refuerza el potencial estratégico de La Guajira como Hub exportador de hidrógeno. En su conjunto, estas iniciativas representan el posicionamiento estratégico de Colombia en la cadena de valor global del hidrógeno verde, fungiendo como catalizador para el desarrollo económico sostenible, la mitigación de emisiones de carbono y la integración competitiva en mercados internacionales de energía renovable.

## Chile y Colombia

Tanto Chile como Colombia han desarrollado estrategias detalladas para impulsar la producción y uso del hidrógeno verde como un elemento clave en la descarbonización de sus economías y el fortalecimiento de su competitividad internacional. Sin embargo, existen similitudes y diferencias en sus enfoques, así como buenas prácticas de Chile que podrían ser implementadas en Colombia.

### Frente a Frente

Tanto Colombia como Chile han incluido el hidrógeno verde como parte esencial de sus estrategias para alcanzar la neutralidad al 2050, viéndolo como un medio clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y cumplir con los compromisos adquiridos en el Acuerdo de París. Este enfoque refleja una apuesta compartida por la sostenibilidad, integrando el hidrógeno en sus planes de transición energética para descarbonizar sus economías y contribuir a la lucha global contra el cambio climático.

**Tabla 5. Comparativo de las Estrategias de Hidrógeno Verde entre Chile y Colombia**

Aspecto	Chile	Colombia
Prioridad en la Exportación	Enfoque principal en exportación, posicionándose como líder mundial en producción a bajo costo.	Enfoque mixto: desarrollo del mercado interno y oportunidades de exportación.
Recursos Naturales	Potencial solar y eólico extremo en el Desierto de Atacama y la Patagonia.	Potencial hidroeléctrico, eólico y solar diversificado en varias regiones del país.
Regulación y Gobernanza	Plan detallado con gobernanza interministerial clara y participación del sector privado y académico.	Plan regulatorio en desarrollo, con necesidad de fortalecer la articulación interinstitucional.
Infraestructura y Barreras	Plan avanzado de licitación de terrenos fiscales y permisos para proyectos de hidrógeno verde.	Infraestructura en desarrollo, con retos en permisos ambientales y adaptación de infraestructura existente.

Inversión y Financiamiento	Gran impulso a mecanismos de financiamiento público-privado y alianzas internacionales.	En proceso de definir instrumentos de financiamiento más atractivos para la inversión extranjera.
Uso Doméstico del Hidrógeno	Uso prioritario en minería y transporte pesado antes de la exportación masiva.	Exploración de usos en refinación, fertilizantes y transporte, con foco en sustitución de combustibles fósiles.
Participación Ciudadana	Consultas públicas y mesas de trabajo con comunidades locales.	Participación aún en fase inicial, con necesidad de mayor socialización del proyecto.

### **Chile Allaná el Camino**

En el ámbito de la estrategia de exportación con acuerdos internacionales, Chile ha tomado la delantera al establecer relaciones sólidas con mercados potenciales como Japón (Reuters, 2023), Corea del Sur (The Korea Herald, 2024) y Europa (Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile, 2022), lo que le permite asegurar una demanda futura para su hidrógeno verde. Colombia, en contraste, aún tiene camino por recorrer, pero podría fortalecer sus relaciones comerciales con estos mismos mercados y trabajar en definir rutas logísticas claras que optimicen su capacidad exportadora, aprovechando su posición geográfica estratégica para insertarse en el comercio global de esta energía limpia.

Pasando al enfoque en clústeres regionales, Chile ha sabido identificar polos estratégicos para la producción de hidrógeno, basándose en sus ventajas geográficas y energéticas, como el desierto de Atacama y la Patagonia, que ofrecen condiciones ideales para energías renovables. Colombia, por su parte, podría seguir este ejemplo y establecer zonas específicas para el desarrollo de esta industria, como La Guajira, los Llanos Orientales y la región Andina, regiones que cuentan con un enorme potencial gracias a sus recursos solares y eólicos, aunque aún requiere una planificación más detallada para concretarlo.

En términos de planificación territorial y uso de terrenos fiscales, Chile ha dado un paso adelante al establecer un mecanismo de concesión de terrenos fiscales que facilita el desarrollo de proyectos de hidrógeno verde en áreas con alto potencial energético. Colombia podría adoptar una estrategia similar, utilizando sus tierras públicas en regiones como La Guajira o los Llanos Orientales para acelerar la instalación de infraestructura energética, lo que le permitiría aprovechar mejor sus recursos naturales y avanzar en su transición hacia energías renovables.

Hablando de regulación clara y ágil, Chile ha logrado avances importantes al crear normativas específicas para el hidrógeno verde, con procesos de permisos más rápidos y estandarizados que reducen la burocracia y fomentan la inversión. Colombia, en cambio, aún enfrenta el desafío de desarrollar un marco regulatorio más robusto y eficiente, una tarea pendiente que resulta crucial para dar certeza jurídica a los inversionistas y agilizar el despliegue de proyectos en su territorio.

Por último, en el aspecto de la mayor participación ciudadana, Chile ha implementado talleres y mesas técnicas con diversos actores, asegurando que la transición hacia el hidrógeno verde sea justa e inclusiva, lo que ha ayudado a generar aceptación social. Colombia podría replicar este modelo, promoviendo la participación de las comunidades en las zonas donde se desarrollen estos proyectos, como una forma de generar confianza, mitigar conflictos sociales y garantizar que los beneficios de esta industria lleguen a la población local.

## Conclusiones

Chile como referente en la adopción de energías renovables y el hidrógeno verde:

- La trayectoria de Chile en la integración de ERNC se ha visto impulsada por un marco regulatorio sólido y el respaldo de entidades como CORFO, que han facilitado el financiamiento y la innovación tecnológica.
- El país ha logrado fortalecer su competitividad energética gracias a ventajas naturales (excelente radiación solar en el norte y vientos favorables en el sur), a la vez que supo sincronizar políticas públicas —por ejemplo, los impuestos verdes— con la demanda industrial.
- Su estrategia se orienta a convertirse en un exportador global de hidrógeno verde y derivados (p. ej., amoníaco), sin descuidar aplicaciones internas de gran escala en minería, transporte pesado y redes de gas.

Factores de competitividad y ventajas estratégicas de la transición en Chile:

- El proceso participativo para la formulación de la Política Energética 2050 y la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde favoreció consensos con empresas, academia, sociedad civil y gobierno, generando una visión compartida del sector.
- La estabilidad macroeconómica y la seguridad jurídica de Chile han sido cruciales para atraer inversión, permitiendo el rápido crecimiento de ERNC y respaldando proyectos iniciales de hidrógeno verde.
- Mecanismos como los arrendamientos de tierras fiscales para fines energéticos, la exploración de un esquema de cuotas para el H<sub>2</sub>V y la robusta institucionalidad

(gobernanza interministerial y colaboración público-privada) han dado claridad al mercado y certidumbre a los inversionistas.

Desafíos económicos, tecnológicos y regulatorios para la adopción masiva en Chile:

- A pesar del enorme potencial, la producción de hidrógeno verde se enfrenta a desafíos como la infraestructura de transmisión eléctrica (congestión de líneas en el norte), la disponibilidad de agua en zonas áridas y la necesidad de desarrollar tecnología confiable de electrolizadores en condiciones extremas.
- Existen todavía barreras regulatorias (por ejemplo, la falta de un mecanismo de cuotas plenamente implementado a escala nacional) y retos de alto costo en la fase inicial, lo cual exige mayor inversión en innovación, escalamiento y almacenamiento.
- La adaptación del marco normativo y la participación temprana de comunidades locales son elementos que se han reforzado en planes actualizados (Plan de Acción 2023-2030), mostrando la voluntad de mantener continuidad en la estrategia de H<sub>2</sub>V pese a cambios de gobierno.

Comparación con otras potencias del hidrógeno (Alemania, Australia, Canadá y Japón):

- Alemania: ha fijado objetivos de capacidad de electrólisis y busca afianzar importaciones de hidrógeno; destaca su robusto marco regulatorio, exportable como modelo, y el respaldo financiero (IPCEI).
- Australia: prioriza su ventaja natural para exportar, impulsando “Hubs” industriales con mega-proyectos solares y eólicos en alianza con Asia-Pacífico.

- Canadá: combina un amplio potencial renovable con una industria local de pilas de combustible; integra políticas federales y provinciales con el fin de formar clústeres competitivos y un mercado interno sólido.
- Japón: se enfoca en reducir costos del hidrógeno y desplegarlo masivamente en transporte, además de establecer cadenas de suministro internacionales (uso de amoníaco y metanol como vectores).
- En general, las experiencias de estas economías confirman la importancia de la gobernanza sólida, la inversión continua en I+D y las alianzas para asegurar mercados.

#### Desafíos y oportunidades para Colombia:

- Al igual que Chile, Colombia cuenta con recursos renovables destacados (sol y viento, especialmente en La Guajira), pero necesita fortalecer la infraestructura de transmisión y la regulación específica para el hidrógeno verde.
- La estrategia colombiana se encuentra en una fase más temprana: no existen aún cuotas de mezcla en redes de gas ni mecanismos de arrendamiento de tierras fiscales similares a los de Chile. Los esfuerzos se han concentrado en incentivos tributarios (exclusión de IVA, depreciación acelerada, etc.) y en proyectos piloto (principalmente liderados por Ecopetrol).
- Sectores como el transporte pesado, refinerías y la generación de derivados como amoníaco, son claves para dinamizar la demanda interna. Sin embargo, la expansión definitiva hacia la exportación requerirá sinergias con puertos (Cartagena, La Guajira) y mayor articulación público-privada.

- Chile demuestra que la claridad regulatoria y la participación ciudadana facilitan la adopción de ERNC y el desarrollo temprano de proyectos de hidrógeno. Colombia, por tanto, podría replicar instrumentos chilenos, como la cesión de terrenos fiscales o la definición de cuotas, adecuándolos al contexto local.

Recomendaciones finales para la transición energética al 2050:

- Robustecer el marco normativo y la planificación territorial: Igual que en Chile, se requiere mayor coherencia interinstitucional para acelerar permisos y licencias, generando confianza en el mercado.
- Diseñar mecanismos de demanda interna: Implementar pilotos de blending en redes de gas, incluir metas obligatorias para transporte pesado o para la industria, a fin de generar un mercado inicial que reduzca costos y atraiga inversión.
- Diversificar fuentes de financiamiento: Inspirarse en los subsidios y fondos de CORFO, explorando modelos de capital semilla, crédito subsidiado y bonos verdes que apalanquen proyectos en sus primeras fases.
- Impulsar la participación de comunidades y actores locales: Tomar como ejemplo el proceso participativo de la Política Energética 2050 en Chile; la socialización y el beneficio compartido ayudan a reducir conflictos sociales y legitiman la transición.
- Fortalecer la innovación y el capital humano: Promover alianzas con centros de investigación y el sector educativo para formar profesionales capacitados en energías renovables y tecnologías de hidrógeno, clave para sostener la competitividad a largo plazo.

Conclusión general: Tanto la experiencia de Chile como la de potencias internacionales demuestran que el hidrógeno verde es un pilar estratégico de la descarbonización a escala global. El éxito chileno se basa en un entorno macroeconómico estable, políticas de fomento claras (impuestos verdes, posible mecanismo de cuotas, financiamiento CORFO) y participación multisectorial. Para Colombia, la adopción de estos aprendizajes —ajustada a su realidad en infraestructura, regulación y recursos— puede acelerar significativamente su propia transición hacia un modelo energético sostenible. La Guajira y Cartagena se perfilan como un pilar de competitividad y eventual exportación de hidrógeno verde, siempre que se consoliden marcos regulatorios sólidos y se fomente la participación de las comunidades y del sector privado.

## Referencias

- 4e - Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética de Chile. (2021). *Inyección de hidrógeno en redes de gas natural*. Santiago: Ministerio de Energía de Chile.
- Agency for Natural Resources and Energy. (06 de juni de 2023). *Overview of Basic Hydrogen Strategy*. Obtenido de <https://www.meti.go.jp>:  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene\\_shinene/suiso\\_seisaku/pdf/20230606\\_5.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/suiso_seisaku/pdf/20230606_5.pdf)
- Agency for Natural Resources and Energy. (2024). *Hydrogen Society Promotion Law*. Tokio.
- Ammonia Energy. (08 de marzo de 2023). [www.ammoniaenergy.org](http://www.ammoniaenergy.org). Obtenido de  
<https://ammoniaenergy.org/articles/hyex-ammonia-from-the-chilean-desert/>:  
<https://ammoniaenergy.org/articles/hyex-ammonia-from-the-chilean-desert/>
- Anagas. (16 de Febrero de 2023). *Corea del Sur: su hoja de ruta del hidrógeno basada en la I+D+i*. Obtenido de <https://goodnewenergy.enagas.es/innovadores/corea-del-sur-su-hoja-de-ruta-del-Hidrógeno-basada-en-la-idi/#:~:text=El%20desarrollo%20del%20hidr%C3%B3geno%20en%20Corea%20del%20Sur%20no%20es%20casual&text=Sus%20ambiciosos%20objetivos%20incluyen%20la,por%20hi>
- Banco Central de Chile. (10 de 10 de 2024). *Set de Gráficos - Banco Central de Chile*. Obtenido de <https://si3.bcentral.cl/setgraficos/#>

Banco Interamericano de Desarrollo. (26 de marzo de 2019). <https://blogs.iadb.org>. Obtenido de La matriz energética de Colombia se renueva: <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-matriz-energetica-de-colombia-se-renueva/>

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (20 de 08 de 2024). [www.bcn.cl](http://www.bcn.cl). Obtenido de [www.bcn.cl: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio%2F10221%2F26723%2F1%2FBCN\\_\\_\\_Implementacion\\_de\\_Impuesto\\_Verde\\_en\\_Chile.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio%2F10221%2F26723%2F1%2FBCN___Implementacion_de_Impuesto_Verde_en_Chile.pdf)

Biblioteca Nacional del Congreso de Chile. (22 de 09 de 2024). [www.bnc.cl](http://www.bnc.cl). Obtenido de [www.bnc.cl: https://bcn.cl/2f5qt](https://bcn.cl/2f5qt)

BID, B. I. (23 de Junio de 2023). *Hidrógeno verde en Chile: una herramienta para la descarbonización*. Obtenido de [https://blogs.iadb.org/innovacion/es/Hidrógeno-verde-en-Chile-una-herramienta-para-la-descarbonizacion/](https://blogs.iadb.org/innovacion/es/Hidrogeno-verde-en-Chile-una-herramienta-para-la-descarbonizacion/)

Cabinet Secretariat Ministry of Economy, Trade and Industry. (2021). *Green Growth Strategy Through Achieving Carbon Neutrality in 2050*. Tokio.

Canadian Hydrogen and Fuel Cell Association. (2016). *Canadian Hydrogen and Fuel Cell Sector Profile*. Ottawa.

Carey y Cía Ltda. (19 de junio de 2024). *General Comptroller of the Republic*. Obtenido de <https://www.carey.cl>: <https://www.carey.cl/wp-content/themes/careybones/inc/dompdf/news-alert-generator.php?id=37373>

Cavada, J. P. (2023). *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35369/2/Regimen\\_tributario\\_del\\_Hidrogeno\\_verde\\_en\\_Chile\\_ed\\_rr\\_hct\\_2\\_EDPA.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35369/2/Regimen_tributario_del_Hidrogeno_verde_en_Chile_ed_rr_hct_2_EDPA.pdf)

Chile, M. d. (2022). *USO DE HIDRÓGENO VERDE EN EL TRANSPORTE TERRESTRE*.

Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://energia.gob.cl/electromovilidad/img/16.Hidr%C3%B3geno.pdf

Chile, M. d. (Diciembre de 2023). Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://ptx-hub.org/wp-content/uploads/2024/01/Encadenamientos-productivos-de-la-industria-del-Hidrógeno-verde-y-derivados-en-Magallanes-y-la-Antartica-Chilena.pdf

COAG Energy Council. (2019). *Australia's National Hydrogen Strategy*. Perth.

Comisión Nacional de Energía (Chile). (diciembre de 2016). *Reporte mensual sector energético-*

*diciembre 2016 - volumen N° 22*. Obtenido de [https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/06/RMensual\\_v201612.pdf](https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2015/06/RMensual_v201612.pdf)

Comisión Nacional de Energía (Chile). (diciembre de 2024). *Mensual sector energético Vol. N°*

*118*. Obtenido de [https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2024/12/RMensual\\_v202412.pdf](https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2024/12/RMensual_v202412.pdf)

Comisión Nacional de Energía de Chile. (06 de junio de 2021). *Anuario Estadístico de Energía*

*2021*. Obtenido de [www.cne.cl](http://www.cne.cl): <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2022/07/AnuarioEstadisticoEnergia2021.pdf>

Commonwealth of Australia. (2024). *National Hydrogen Strategy 2024*.

Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. (30 de octubre de 2024).

[www.research.csiro.au](http://www.research.csiro.au). Obtenido de Australian Renewable Energy Hub:

<https://research.csiro.au/hyresource/australian-renewable-energy-hub/>

Congreso de Colombia. (13 de mayo de 2014). *Ley 1715*. Obtenido de

[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=57353](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=57353)

Congreso de Colombia. (29 de diciembre de 2016). *www.funcionpublica.gov.co*. Obtenido de

[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=79140](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=79140)

Congreso de Colombia. (10 de julio de 2021). *Ley 2099*. Obtenido de

[https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=166326](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=166326)

CORFO. (27 de 12 de 2021). *www.corfo.cl*. Obtenido de Corfo adjudica propuestas de

Hidrógeno Verde que atraerán inversiones por 1.000 millones de dólares:

[https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala\\_de\\_prensa/nacional/27\\_12\\_2021\\_ganadores\\_Hidrogeno\\_verde](https://www.corfo.cl/sites/cpp/sala_de_prensa/nacional/27_12_2021_ganadores_Hidrogeno_verde)

dataiFX.com. (27 de febrero de 2025). *Energía eólica en Colombia: 69 áreas nominadas para proyectos en el Caribe*. Obtenido de [www.dataifx.com](http://www.dataifx.com):

<https://www.dataifx.com/post/energia-eolica-en-colombia-69-areas-nominadas-para-proyectos-en-el-caribe>

Departamento Nacional de Planeación. (29 de marzo de 2022). *Política nacional de transición energética: un compromiso con el presente y el futuro de Colombia*. Obtenido de

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4075.pdf>

Diario Estrategia. (08 de enero de 2025). *www.diarioestrategia.cl*. Obtenido de Copec

implementará la primera hidrolinera para camiones de alto tonelaje en Chile:

<https://www.diarioestrategia.cl/texto-diario/mostrar/5130156/copec-implementara-primera-hidrolinera-camiones-alto-tonelaje-Chile>

Ecopetrol. (18 de marzo de 2022). *El Grupo Ecopetrol inició la producción de hidrógeno verde en Colombia*. Obtenido de [www.ecopetrol.com.co](http://www.ecopetrol.com.co):

<https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/noticias/detalle/Noticias+2021/el-grupo-ecopetrol-inicip-la-produccion-de-Hidrógeno-verde-en-colombia>

ENAP. (2023). *Reporte Integrado 2023*. Santiago.

Energía Estratégica. (11 de noviembre de 2022). *www.energiaestrategica.com*. Obtenido de Estudio aborda las oportunidades para Chile para producir amoníaco verde:

<https://www.energiaestrategica.com/estudio-aborda-las-oportunidades-para-Chile-para-producir-amoniaco-verde/>

Energy News. (04 de junio de 2022). *www.energynews.biz*. Obtenido de Chile's first hydrogen mining pilot project to debut in June: <https://energynews.biz/Chiles-first-hydrogen-mining-pilot-project-to-debut-in-june/>

Energy Transition - The Global Energiewende. (09 de enero de 2024). *Challenges to Chile becoming a green hydrogen superpower*. Obtenido de [www.energytransition.org](http://www.energytransition.org): <https://energytransition.org/2024/01/challenges-to-Chile-becoming-a-green-hydrogen-superpower/>

Energy, A. f. (2023). Overview of Basic Hydrogen Strategy. *JAPAN STRATEGY*.

Environmental Protection Authority. (20 de noviembre de 2024). *www.epa.wa.gov.au*. Obtenido de Public record pursuant to s. 39 of the Environmental Protection Act 1986 : chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/[https://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/Extract\\_of\\_determination/Chair%20Determination%20-%20Western%20Green%20Energy%20Hub.pdf](https://www.epa.wa.gov.au/sites/default/files/Extract_of_determination/Chair%20Determination%20-%20Western%20Green%20Energy%20Hub.pdf)

Financiera de Desarrollo Nacional de Colombia. (02 de diciembre de 2024).

*www.cms.fdn.com.co*. Obtenido de FDN y Bancóldex se unen para desarrollar la industria

de hidrógeno en Colombia: <https://cms.fdn.com.co/sites/default/files/2025-01/FDNComunicadoDic2024Bancoldex.pdf>

Fraunhofer ISE. (20 de febrero de 2024). *Power-to-X Production in Colombia*. Obtenido de [www.procolombia.co](http://www.procolombia.co): [https://procolombia.co/system/files/2024-05/fraunhofer-ise\\_ptx\\_production\\_in\\_colombia.pdf](https://procolombia.co/system/files/2024-05/fraunhofer-ise_ptx_production_in_colombia.pdf)

Fuel Cells Works. (28 de enero de 2022). [www.fuelcellworks.com](http://www.fuelcellworks.com). Obtenido de HYDRA'S FCEV Mining Truck Stationary Powertrain Prototype Completed While Liebherr Joins Consortium: <https://fuelcellworks.com/news/hydras-fcev-mining-truck-stationary-powertrain-prototype-completed-while-liebherr-joins-consortium>

Fundación Chile 21. (20 de 08 de 2024). *Impuestos verdes y modernización tributaria*. Obtenido de [https://www.Chile21.cl/wp-content/uploads/2019/09/CHILE\\_21\\_IMPUESTO-VERDE-y-MODERNIZACION-TRIBUTARIA\\_AL-GRANO.pdf](https://www.Chile21.cl/wp-content/uploads/2019/09/CHILE_21_IMPUESTO-VERDE-y-MODERNIZACION-TRIBUTARIA_AL-GRANO.pdf)

Gasvalpo. (15 de 07 de 2024). [www.h2gn.cl](http://www.h2gn.cl). Obtenido de <https://www.h2gn.cl/>

German Society for International Cooperation (GIZ) GmbH. (2023). *Estrategia nacional de hidrógeno de Alemania*. Noviembre.

Gobierno Federal Alemán. (2020). *NATIONAL HYDROGEN STRATEGY - Key element of the energy transition*. Berlin.

Gobierno Federal Alemán. (2023). *National Hydrogen Strategy - Update*. Berlín.

Good New Energy. (06 de junio de 2023). [www.goodnewenergy.enagas.es](http://www.goodnewenergy.enagas.es). Obtenido de Canadá quiere aprovechar sus capacidades para desarrollar una próspera economía del hidrógeno: <https://goodnewenergy.enagas.es/innovadores/canada-quiere-aprovechar-sus-capacidades-para-desarrollar-una-prospera-economia-del-Hidrogeno/>

Government of Canada. (2020). *Hydrogen Strategy for Canada*. Ottawa.

- Government of Canada. (mayo de 2024). *www.natural-resources.canada.ca*. Obtenido de Hydrogen Strategy for Canada: Progress Report: <https://natural-resources.canada.ca/climate-change/hydrogen-strategy-canada-progress-report>
- Government of Japan. (2021). *Strategic Energy Plan*. Tokio.
- Hydrogen and Fuel Cell Strategy Council. (2018). *The Strategic Road Map for Hydrogen and Fuel Cells*. Tokio.
- IEA. (2023). *Global hydrogen demand in the Net Zero Scenario, 2022-2050*, IEA, Paris. Obtenido de [www.iea.org](https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-hydrogen-demand-in-the-net-zero-scenario-2022-2050): <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-hydrogen-demand-in-the-net-zero-scenario-2022-2050>
- Instituto Español de Comercio Exterior. (2020). *El mercado de hidrógeno en Australia*. Sidney.
- Instituto Español de Comercio Exterior. (2023). *Estrategia Nacional de Hidrógeno en Alemania*. Berlín.
- International Mining. (16 de marzo de 2021). *www.im-mining.com*. Obtenido de Chile's HYDRA hydrogen mining truck powertrain project to report first results: <https://im-mining.com/2021/03/16/Chiles-hydra-hydrogen-mining-truck-powertrain-project-report-first-results/>
- International Mining. (13 de septiembre de 2022). *www.im-mining.com*. Obtenido de HYDRA Consortium moves to next stage with hydrogen powertrain installed at Centinela: <https://im-mining.com/2022/09/13/hydra-consortium-moves-to-next-stage-with-hydrogen-powertrain-installed-at-centinela/>
- Invest Chile Blog. (08 de octubre de 2021). *Green Hydrogen in Chile: 15 projects to start production before 2030*. Obtenido de <https://blog.investChile.gob.cl>:

<https://blog.investChile.gob.cl/green-hydrogen-in-Chile-15-projects-to-start-production-before-2030>

Invest Chile Blog. (06 de enero de 2025). *Generación eléctrica Chile 2024: El 68% provino de energías renovables*. Obtenido de <https://blog.investChile.gob.cl>:

<https://blog.investChile.gob.cl/bloges/generacion-electrica-Chile-2024>

IRENA. (2023). *World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway*. Obtenido de [www.irena.org](http://www.irena.org):

<https://www.irena.org/->

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA\\_World\\_energy\\_transitions\\_outlook\\_2023.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jun/IRENA_World_energy_transitions_outlook_2023.pdf)

Khanna, T. B. (2022). Hidrógeno verde en Chile. *Harvard/Business/Cchool*.

La Republica. (18 de septiembre de 2024). *Grupo Ecopetrol produce un aproximado de 130.000 toneladas de hidrógeno al año*. Obtenido de [www.larepublica.co](http://www.larepublica.co):

<https://www.larepublica.co/especiales/avance-en-el-Hidrógeno-verde/grupo-ecopetrol-produce-130-000-toneladas-de-Hidrógeno-al-ano-3954736>

Latina, S.-E. e. (2023). DESAFIOS DEL HIDRÓGENO VERDE . *FRIEDRICH EBERTO STIFTUNG*.

Mining 3. (11 de Julio de 2024). [www.mining3.com](http://www.mining3.com). Obtenido de CORFO Launches Initiative to

Promote Hydrogen Adoption in Chilean Industry: <https://www.mining3.com/corfo-launches-initiative-to-promote-hydrogen-adoption-in-chilean-industry/>

Mining Magazine. (04 de febrero de 2022). [www.miningmagazine.com](http://www.miningmagazine.com). Obtenido de Antofagasta

evaluating green hydrogen: <https://www.miningmagazine.com/management/news-articles/1425993/antofagasta-evaluating-green-hydrogen>

Mining.com. (16 de abril de 2021). *www.mining.com*. Obtenido de Hydra Consortium wants heavy-duty mining equipment to run on renewable hydrogen:

<https://www.mining.com/hydra-consortium-wants-heavy-duty-mining-equipment-to-run-on-renewable-hydrogen/>

Ministerial Council on Renewable Energy. (2017). *Basic Hydrogen Strategy*. Tokio.

Ministerio de Ambiente - Chile. (08 de 01 de 2025). *www.cambioclimatico.mma.gob.cl*.

Obtenido de ANTEPROYECTO ACTUALIZACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN DETERMINADA A NIVEL NACIONAL 2025 :

<https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2025/02/Anteproyecto-NDC-2025-anexos.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (15 de junio de 2017).

*www.minambiente.gov.co*. Obtenido de PREGUNTAS FRECUENTES DEL IMPUESTO NACIONAL AL CARBONO Y EL TRATAMIENTO TRIBUTARIO DE NO CAUSACIÓN POR CARBONO NEUTRALIDAD:

[https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/ABC\\_DECRETO\\_926\\_de\\_2017.pdf](https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/01/ABC_DECRETO_926_de_2017.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (01 de noviembre de 2021).

*www.minambiente.gov.co*. Obtenido de E2050 Colombia:

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2024/12/2.-Estrategia-Climatica-de-Largo-Plazo-de-Colombia-E2050.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (09 de agosto de 2021).

*www.minambiente.gov.co*. Obtenido de Colombia está comprometida con la acción

climática global”: Ministro de Ambiente: <https://www.minambiente.gov.co/colombia-esta-comprometida-con-la-accion-climatica-global-ministro-de-ambiente/>

Ministerio de Energía - Chile. (2020). *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde*. Santiago.

Ministerio de Energía - Chile. (02 de noviembre de 2022). *www.energia.gob.cl*. Obtenido de Comienza inyección de hidrógeno verde en red de gas natural de La Serena y Coquimbo: <https://energia.gob.cl/noticias/coquimbo/comienza-inyeccion-de-Hidrógeno-verde-en-red-de-gas-natural-de-la-serena-y-coquimbo>

Ministerio de Energía (Chile). (30 de diciembre de 2015). *Energía 2050 - Política energética de Chile*. Obtenido de [https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia\\_2050\\_-\\_politica\\_energetica\\_de\\_Chile.pdf](https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_Chile.pdf)

Ministerio de Energía (Chile). (abril de 2024). *Plan de acción hidrógeno verde 2023-2030*. Obtenido de [https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan\\_de\\_accion\\_Hidrógeno\\_verde\\_2023-2030.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan_de_accion_Hidrógeno_verde_2023-2030.pdf)

Ministerio de Energía. (22 de 08 de 2024). *www.energia.gob.cl*. Obtenido de [https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia\\_nacional\\_de\\_Hidrógeno\\_verde\\_-\\_Chile.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_nacional_de_Hidrógeno_verde_-_Chile.pdf)

Ministerio de Energía. (02 de 08 de 2024). *www.energia.gob.cl*. Obtenido de [https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan\\_de\\_accion\\_Hidrógeno\\_verde\\_2023-2030.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/plan_de_accion_Hidrógeno_verde_2023-2030.pdf)

Ministerio de Hacienda (Chile). (29 de septiembre de 2014). *Ley 20.780 de 2014*. Obtenido de Biblioteca del Congreso Nacional de Chile / BNC: <https://bcn.cl/2fa17>

Ministerio de Minas y Energía. (18 de julio de 2022). <https://www.minenergia.gov.co>. Obtenido de El Gobierno financiará 10 proyectos de estudios para el desarrollo de hidrógeno verde y azul en Colombia por más de \$6.500 millones: <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/el-gobierno-financiar%C3%A1-10-proyectos-de-estudios-para-el-desarrollo-de-hidr%C3%B3geno-verde-y-azul-en-colombia-por-m%C3%A1s-de-6500-millones/>

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (30 de septiembre de 2021). *Hoja de Ruta del Hidrógeno en Colombia*. Obtenido de [https://www.minenergia.gov.co/documents/5861/Hoja\\_Ruta\\_Hidrógeno\\_Colombia\\_2810.pdf](https://www.minenergia.gov.co/documents/5861/Hoja_Ruta_Hidrógeno_Colombia_2810.pdf)

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (03 de agosto de 2022). *Decreto 1476*. Obtenido de [https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=191408](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=191408)

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (06 de enero de 2022). [www.gestornormativo.creg.gov.co](http://www.gestornormativo.creg.gov.co). Obtenido de [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_minminas\\_40045\\_2022.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_minminas_40045_2022.htm)

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (25 de octubre de 2023). *Proyectos de Hidrógeno en Colombia*. Obtenido de [www.fenoge.gov.co](http://www.fenoge.gov.co): [https://fenoge.gov.co/documentos-pdf/proyectos/Proyectos\\_Colombia\\_Hidrógeno3.pdf](https://fenoge.gov.co/documentos-pdf/proyectos/Proyectos_Colombia_Hidrógeno3.pdf)

Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile. (24 de agosto de 2022). *Chile signs agreement with Germany's largest port for green hydrogen exports*. Obtenido de [www.minrel.gob.cl](http://www.minrel.gob.cl): <https://www.minrel.gob.cl/news/Chile-signs-agreement-with-germany-s-largest-port-for-green-hydrogen>

- Ministerio Federal de Asuntos Economicos y Acción Climática - Alemania. (14 de febrero de 2024). *www.bmwk.de*. Obtenido de <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Pressemitteilungen/2024/02/20240215-european-commission-approves-funding-for-key-hydrogen-projects.html>
- National Hydrogen Strategy. (2023). *Federal Ministry for Economic Affairs*.
- OECD Economic Surveys. (enero de 2025). *Chile 2025*. Obtenido de [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/01/oecd-economic-surveys-Chile-2025\\_049bebf1/efad96ce-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/01/oecd-economic-surveys-Chile-2025_049bebf1/efad96ce-en.pdf)
- OTS. (s.f.). *Convenio Núm. 169 de la OIT sobre Pueblos Indígenas y Tribales*. Obtenido de [file:///C:/Users/R059%20R3%208GB%20256GB/Downloads/wcms\\_345065.pdf](file:///C:/Users/R059%20R3%208GB%20256GB/Downloads/wcms_345065.pdf)
- Presidencia de Colombia. (02 de diciembre de 2024). *Ecopetrol construirá planta de hidrógeno verde más grande de Latinoamérica: producirá 800 toneladas anuales*. Obtenido de [www.presidencia.gov.co: https://www.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Ecopetrol-construira-planta-de-Hidrogeno-verde-mas-grande-de-Latinoamerica-producira-800-toneladas-anuales-241202.aspx#:~:text=Bogot%C3%A1%2C%20de%20diciembre%20de%202024&text=El%20proyecto%2C%20que%20come](https://www.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Ecopetrol-construira-planta-de-Hidrogeno-verde-mas-grande-de-Latinoamerica-producira-800-toneladas-anuales-241202.aspx#:~:text=Bogot%C3%A1%2C%20de%20diciembre%20de%202024&text=El%20proyecto%2C%20que%20come)
- Presidencia de la Republica de Colombia. (01 de junio de 2017). <https://www.funcionpublica.gov.co>. Obtenido de Decreto 926 de 2017: [https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma\\_pdf.php?i=81936](https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=81936)
- Puyana, I. (2024). *Lecciones aprendidas de Chile: un líder regional en la Transición Energética*. Obtenido de <https://www.pares.com.co/post/lecciones-aprendidas-de-Chile>

- Reuters. (03 de febrero de 2023). *Japan's Sumitomo to produce green hydrogen and ammonia in Chile*. Obtenido de [www.reuters.com](https://www.reuters.com/business/sustainable-business/japans-sumitomo-produce-green-hydrogen-ammonia-Chile-2023-02-03/): <https://www.reuters.com/business/sustainable-business/japans-sumitomo-produce-green-hydrogen-ammonia-Chile-2023-02-03/>
- RTVC Noticias. (16 de enero de 2025). *La Guajira lidera la transición energética justa con 17 proyectos eólicos*. Obtenido de [www.rtvnoticias.com](https://www.rtvnoticias.com/): <https://www.rtvnoticias.com/la-guajira-lidera-energia-eolica>
- S&P Global. (06 de abril de 2022). *www.spglobal.com*. Obtenido de First pilot project in Chile for hydrogen in mining to launch prototype in June: <https://www.spglobal.com/market-intelligence/en/news-insights/articles/2022/4/first-pilot-project-in-Chile-for-hydrogen-in-mining-to-launch-prototype-in-june-69585431>
- Sostenible, M. d. (18 de enero de 2022). *Mitigación de Gases de Efecto Invernadero – GEI*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/cambio-climatico-y-gestion-del-riesgo/mitigacion-de-gases-de-efecto-invernadero-gei/>
- The Korea Herald. (29 de septiembre de 2024). *The Korea Herald*. Obtenido de [https://www.koreaherald.com](https://www.koreaherald.com/): <https://www.koreaherald.com/article/3484061>
- The Ministerial Council on Renewable Energy, Hydrogen and Related Issues. (2023). *Basic Hydrogen Strategy*. Tokio.
- Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia. (2017). *Atlas de la Radiación en Colombia Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Obtenido de [www.andi.com.co](http://www.andi.com.co): <https://www.andi.com.co/uploads/radiacion.compressed.pdf>
- Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia. (2017). *www.andi.com.co*. Obtenido de Atlas de Viento en Colombia: <https://www.andi.com.co/uploads/viento.compressed.pdf>

Unidad de Planeación MInero Energética de Colombia. (25 de enero de 2025).

[www1.upme.gov.co](http://www1.upme.gov.co). Obtenido de Balance Energético Colombiano Revisión 2022 - Preliminar 2023:

[https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Beco/Presentacion\\_Balance\\_Energetico\\_Colombiano\\_2022%e2%80%932023.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Beco/Presentacion_Balance_Energetico_Colombiano_2022%e2%80%932023.pdf)

Universidad Externado de Colombia. (01 de mayo de 2024).

[www.medioambiente.uexternado.edu.co](http://www.medioambiente.uexternado.edu.co). Obtenido de Financiación de proyectos de hidrógeno verde en Colombia: <https://medioambiente.uexternado.edu.co/financiacion-de-proyectos-de-Hidrogeno-verde-en-colombia/>

UPME. (2019). *PLAN ENERGÉTICO NACIONAL*. Obtenido de

[file:///C:/Users/R059%20R3%208GB%20256GB/Downloads/PEN\\_dPLAN\\_ENERGÉTICO\\_NACIONAL\\_2020-2050cumento\\_para\\_consulta.pdf](file:///C:/Users/R059%20R3%208GB%20256GB/Downloads/PEN_dPLAN_ENERGÉTICO_NACIONAL_2020-2050cumento_para_consulta.pdf)

World Bank Group. (15 de 07 de 2024). [www.documents.worldbank.org/](http://www.documents.worldbank.org/). Obtenido de

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/099072723121026017/pdf/P176310006c4940c60acfc0482140dfd51a.pdf>

Xataka Energía. (10 de octubre de 2024). *El Desierto de Atacama es el tesoro solar de Chile, pero también un dolor de cabeza para su red eléctrica*. Obtenido de [www.xataka.com](http://www.xataka.com):

<https://www.xataka.com/energia/desierto-atacama-tesoro-solar-Chile-tambien-dolor-cabeza-para-su-red-electrica>

Xataka Energía. (30 de enero de 2025). [www.xataka.com](http://www.xataka.com). Obtenido de Se acabó el plazo:

Australia tiene que decidir si aprueba una central de energía renovable más grande que El Salvador: <https://www.xataka.com/energia/se-acabo-plazo-australia-tiene-que-decidir-aprueba-planta-energia-renovable-grande-que-salvador>

ZAMORANO CISTERNA, C. I. (2023). *UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA*

*MARIA*. Obtenido de chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.usm.cl/server/api/core/

bitstreams/58731a96-a8d0-4d4f-86e4-384a1dee49d2/content