
HIDRÓGENO VERDE EN CHILE

♦ RESUMEN ♦

Las principales potencias están enfocando sus esfuerzos en la mitigación de emisiones de gases invernadero, en este contexto el hidrógeno verde es la piedra angular y la solución a los distintos procesos de producción de energía, donde su producción, almacenamiento y comercialización, es materia de investigación y actual inversión.

Dentro de este contexto, Chile está impulsando una estrategia nacional de hidrógeno verde, basada en la capacidad que tiene nuestro país como productor de energías renovables no convencionales.

Palabras claves: Hidrógeno verde, descarbonización, electrólisis

GREEN HYDROGEN IN CHILE

♦ ABSTRACT ♦

The world's main powers are focusing their efforts on the reduction of greenhouse gas (GhG) emissions. In this context, green hydrogen is the keystone and the solution to the different processes of energy production, where its manufacturing, storage, and marketing is a subject of research and investment. Within this matter, based on our country's potential as a manufacturer of non-conventional renewable energies (NCRE), Chile is promoting a national strategy for green hydrogen.

Keywords: Green hydrogen, decarbonization, electrolysis



DANIEL VILLARROEL D'AMICO

Teniente 1° LT
Gobernación Marítima de Puerto Montt
Ingeniero Naval Constructor Naval (U. Austral)
Diplomado Hidrógeno Verde. (U.C. Chile)
(dvillarroel158@gmail.com)

Chile tiene un potencial que destaca sobre muchos países dentro del mercado del hidrógeno verde, siendo el país con el menos costo de producción, debido a la gran capacidad de generación de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) (en el Norte la zona con mayor radiación del planeta y el Sur con vientos de gran intensidad [Ministerio de Energía, 2020]). La oportunidad que tiene hoy en día el país consta, principalmente, de aprovechar el impulso internacional para emprender iniciativas en este combustible. Ello supone hacer esfuerzos que superen las barreras de entrada, las cuales serían de capital humano, tecnológicas y administrativas; ya que desaprovechar esta oportunidad, implicaría perder la opción de ser un país líder en este mercado, pero siempre y cuando realicen, con antelación, inversiones destinadas a la superación de las barreras de entrada mencionadas anteriormente.

○ **Objetivos generales:** Conocer el desarrollo de un mercado potencial de hidrógeno verde en Chile, considerando las capacidades de producción eléctrica por medio de ERNC, estrategia nacional y posibilidades de exportar hidrógeno verde a otros países.

○ **Objetivos específicos:**

- Identificar las ventajas que tiene Chile como productor de hidrógeno verde.
- Analizar la actual estrategia nacional de hidrógeno verde.
- Determinar los pasos que debe dar Chile para posicionarse como productor de hidrógeno verde.

A continuación, se presentan las diferentes etapas y aspectos del estudio realizado.

○ **Análisis tecnológico**

En general los principales desafíos tecnológicos apuntan a mejorar la eficiencia en los procesos de obtención, los que hoy en día alcanzan entre el 60% al 70%, además de ser necesario poder disminuir el peso de los sistemas de almacenamiento y optimizar la relación de energía por unidad de volumen.

○ **Obtención de hidrógeno**

La obtención de hidrógeno es el punto clave para afirmar que este tiene una procedencia verde, ya que su producción desde una fuente de

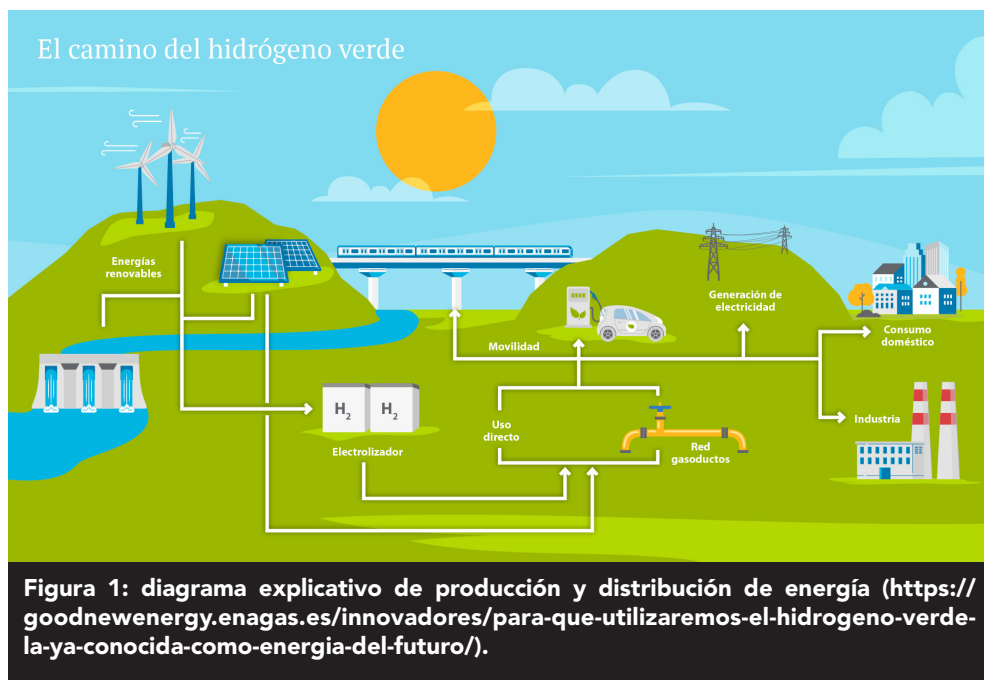


Figura 1: diagrama explicativo de producción y distribución de energía (<https://goodnewenergy.enagas.es/innovadores/para-que-utilizaremos-el-hidrogeno-verde-la-ya-conocida-como-energia-del-futuro/>).

energía renovable, implica que no requirió emitir dióxido de carbono a la atmósfera. Pueden mencionarse también el reformado de gas natural, gasificación del carbón y la oxidación parcial de hidrocarburos, como formas de obtener hidrógeno mediante fuentes no renovables y que requieren de procesos como la vaporización, la desulfuración y la purificación, pero son procesos con tecnologías más contaminantes y, en consecuencia, más barata (Cabrera, 2006). Por otro lado, la electrólisis, proceso por el cual se separan las moléculas que componen el agua al aplicar una corriente eléctrica a un contenedor con agua y una solución alcalina, en donde se puede obtener hidrógeno y oxígeno en forma de gas, si bien, para llevar a cabo esto, es necesaria la energía eléctrica para poder lograr esta reacción, si la fuente de esa energía eléctrica fuese renovable, entonces puede hablarse de hidrógeno verde (Cabrera, 2006).

○ Almacenamiento y distribución

Existen diferentes formas de almacenar el hidrógeno, ya que dependiendo del estado en el que se encuentre, permitirá optimizar la relación de la energía acumulada por unidad de volumen (Cabrera, 2006).

- **Hidrógeno gaseoso:** Esta es una de las tecnologías de menor costo tanto para operación, compresión y equipos asociados, siendo su principal desventaja, la elevada presión a la que debe manipularse el gas. Ya que la densidad energética del hidrógeno gasificado es muy baja frente a otros combustibles, es necesario almacenar grandes volúmenes para que pueda ser competitivo, lo que implica tener que acumular a presiones mucho mayores que van desde los 200 a los 700 bar. Por lo mismo, se requieren contenedores que cumplan con criterios como resistencia, vida útil, peso y coste aceptable (Cabrera, 2006).
- **Hidrógeno líquido:** Otra forma de almacenarlo es en estado líquido, lo

que supone un mayor costo, ya que requiere de contenedores especiales que no solo deben incluir aislamiento necesario para mantenerlo bajo los 33 K; además, se debe considerar que el hidrógeno líquido requiere un proceso de licuación del gas, pudiendo consumir el 30% de la energía contenida, siendo este muy volátil, además de poder generarse pérdidas del 0,3% al 0,6% diario por evaporación (Cabrera, 2006).

- **Sólidos y absorción en superficie:** También es posible almacenarlo dentro de compuestos hidruros metálicos y sólidos como los nanotubos de carbono. Aunque por el peso de este medio es una opción más viable para aplicaciones estacionarias de producción local (Cabrera, 2006).

Situación actual del hidrógeno verde en Chile

El hidrógeno tiene múltiples usos, ya sea domésticos, en la movilización, la electricidad y calefacción; también en la industria química, metalúrgica, agricultura, entre otros. Actualmente, la principal demanda se encuentra en la industria química para la producción de amoníaco y en la industria del acero, en Chile se espera que el mercado del hidrógeno se desarrolle en el sector minero, sector industrial y sector agrícola, además de su exportación.

Debido a la acelerada maduración de las tecnologías en la generación solar y eólica, en los últimos seis años, Chile ha quintuplicado su capacidad de energía renovable y se espera que para el año 2030 el 70% de la matriz energética provenga de fuentes renovables (Ministerio de Energía, 2020). Actualmente Chile tiene un potencial de producción de energías renovables de más de 1.800 GW, lo que hace que sea el país con el menor costo de producción de hidrógeno, con un valor promedio de 2,1 USD/Kg H₂. Valor que se espera disminuya a lo largo de esta década a menos de 1,5 USD/kg. La estrategia nacional proyecta a Chile con



Figura 2: La comuna de Vallenar alberga el proyecto solar fotovoltaico más grande de Latinoamérica – Romero, de Acciona.

un potencial de producción de 160 Mt de hidrógeno al año (Ministerio de Energía, 2020).

Las autoridades han entendido que se requiere de un esfuerzo público-privado para impulsar este mercado, y que los principales desafíos giran en torno a la reducción de los costos de producción y almacenamiento y mejorar la eficiencia de los procesos actuales, lo que se estableció la hoja de ruta llamada, Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, que establece los lineamientos generales, objetivos y metas para el desarrollo de este mercado.

Estrategia nacional de hidrógeno verde

El Ministerio de Energía, a través de la Comisión para la elaboración de una Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, ha desarrollado una estrategia que tiene como objetivo el desarrollo sostenible, la exportación de productos creados con energía cero emisiones y finalmente permitir exportar energía renovable al mundo en forma de hidrógeno verde y sus derivados: amoníaco verde, metanol y combustibles sintéticos. El potencial excedente sería local hasta el 2025 para luego desarrollar

el mercado de exportaciones de hidrógeno al año 2030, objeto contribuir con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un 25% para el 2050.

La estrategia está planteada de forma de abordar tres diferentes segmentos de consumo de energía durante la década comprendida entre los años 2020 y 2030, éstas se denominan oleadas y se presentan a continuación (Ministerio de Energía, 2020):

- **Primera oleada:** enfocada en consumos domésticos a gran escala con demanda establecida. Corresponde a las oportunidades de más corto plazo:
 - Reemplazo del amoníaco importado por producción local.
 - Reemplazo del hidrógeno gris utilizado en las refinerías del país.
 - Uso en buses de larga autonomía para el transporte de pasajeros.
 - Uso en camiones de carga pesada de larga distancia.
- **Segunda oleada:** en la segunda mitad de la década se proyecta una producción de hidrógeno más competitiva que

- desplace a los combustibles líquidos en el transporte terrestre en nuevas aplicaciones, como en la minería y a combustibles gaseosos en redes de distribución, además de aumentar el uso del hidrógeno verde en el transporte y el inicio de la exportación:
- Aumento del uso en camiones de carga pesada de larga distancia.
 - Uso en camiones mineros.
 - Uso en camiones medianos de ruta.
 - Inyección en redes de gas.
 - Exportación de amoníaco.
 - Exportación de hidrógeno, incluye exportación de metanol verde y combustibles sintéticos.
- Tercera oleada:** ya más cerca del final de la década (2033), se abrirán nuevos mercados de exportación para escalar. Los sectores del transporte marítimo y aéreo podrán ser descarbonizados mediante combustibles derivados del hidrógeno, tanto en rutas locales como internacionales:
- Aumento en la exportación de hidrógeno, incluye exportación de metanol verde y combustibles sintéticos.
 - El metanol verde y combustibles sintéticos abren oportunidades más allá del año 2035.

Demanda energética actual en Chile

La demanda de electricidad en Chile debiera aumentar anualmente en un 2,25% durante los próximos 20 años, lo que supera los pronósticos pre pandémicos.

Según la última proyección anual de la Comisión Nacional de Energía, la demanda debiera alcanzar los 111.174 GWh en 2040, incremento de 56% con respecto a los 71.253 GWh de 2020.

A pesar de los efectos de la pandemia de COVID-19, los pronósticos actualizados de CNE son más altos que los de 2019, cuando se esperaba un crecimiento de



1. Sport Utility Vehicle.

2,10% cada año hasta 2039 (Comisión Nacional de Energía, s/f).

La demanda fue menor que lo esperado en 2020, con 71.253 GWh de consumo, 0,5% por debajo de los 71.658 GWh pronosticados a principios de ese año.

Sin embargo, ahora se proyecta que esta se elevará a 77.787 GWh en 2021, 6% más que la previsión de 2019 de 73.234 GWh, principalmente porque se espera que la demanda no regulada crezca mucho más rápido que lo previsto anteriormente a medida que la economía se recupere de un débil 2020.

Análisis de impacto de un mercado de hidrógeno verde en Chile

En la actualidad Chile está implementando medidas que pueden potenciar la demanda de hidrógeno, considerando el escenario mundial donde se pretende mitigar el uso de combustibles fósiles, posicionando el hidrógeno verde como el elemento que permitirá una evolución energética. Esto permitirá generar nuevas aplicaciones del uso del H₂, lo que producirá una nueva demanda potencial nacional (285.000 ton anuales).

De acuerdo a la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, está proyectado activar la demanda local del hidrógeno verde por medio de seis aplicaciones de: usándolo en refinerías, amoníaco doméstico, camiones mineros, camiones pesados de ruta, buses de larga autonomía e inyección en redes de gas. Para todo esto, se requerirá instalar una capacidad total de 25 GW de electrolizadores al 2030, de los cuales 10 GW serían para aplicaciones domésticas; 130 GW al 2040, 40 GW de estos para aplicaciones domésticas; y, 190 GW al 2050, con 52 GW para aplicaciones domésticas.

El uso anticipado de hidrógeno verde en aplicaciones domésticas, permitirá generar una industria preparada para competir en mercados internacionales de exportación, considerando que las principales economías del mundo, están cambiando sus matrices energéticas, con la finalidad de descarbonizar todos los sectores de las economías, impulsando un mercado global del hidrógeno verde y sus derivados.

Conclusiones

El hidrógeno verde, por sus características, lo convierten en un candidato a combustible del futuro y Chile es uno de los países cuyo costo de producción será comparativamente más bajo, gracias a su disponibilidad y desarrollo y, al fomento



y promoción de energías renovables no convencionales.

En la actualidad el Ministerio de Energía está implementando una Estrategia de Hidrógeno Verde que potencia la demanda de hidrógeno en Chile y posiciona al país como gran exportador de este. El plan estratégico nacional de Hidrógeno Verde, detalla los pasos que debe seguir nuestro país para posicionarse como productor mundial, comenzando con un uso anticipado en aplicaciones domésticas y posteriormente, a la exportación, utilizando financiamiento por parte del Estado para apalancar proyectos, fijando un cuerpo regulatorio para la construcción de esta industria.

La externalidades observadas son más bien positivas, debido al beneficio directo de aportar a la descarbonización de la matriz energética, no solo de Chile, sino que del

mundo. Adicionalmente, tiene el potencial de emplear a más de 100.000 personas y revolucionar el mercado energético chileno, debido a que permitiría separarse de la dependencia de combustibles fósiles.

Del al análisis realizado en el desarrollo, identificamos los siguientes desafíos: desafíos tecnológicos, para poder introducirlo en un mercado competitivo, por lo tanto en este ámbito el objetivo principal es disminuir los costos y mejorar la eficiencia energética dentro de la cadena de valor; también existen desafíos de capacitación, ya que requiere de personal especializado y que la oferta académica de los centros de educación superior pueda cumplir con las necesidades de la industria; por último, es necesario un liderazgo que permita la coordinación entre el sector público y privado, de manera que facilite la innovación, incentivar el emprendimiento y fomente la inversión en este campo.



LISTA DE REFERENCIAS

1. *Estrategia Nacional Hidrógeno Verde. Publicado por el Ministerio de Energía, Gobierno de Chile. Noviembre de 2020.*
2. *Cabrera Juan Antonio, 2006, "Hidrógeno y Pilas de Combustible, Estudio de Prospectiva", Fundación Genoma España.*
3. *Comisión Nacional de Energía informe anual. <https://www.cne.cl/nuestros-servicios/reportes/informacion-y-estadisticas/>*