



# Introducción al Hidrógeno verde

## Autores

Rafael Torres M.  
Nicolás García G.  
Email: [rtorres@bcn.cl](mailto:rtorres@bcn.cl)  
Tel.: (56) 32 226 3912

Nº SUP: 133495

Documentos disponibles en:  
<https://atp.bcn.cl>

## Resumen

El Cambio Climático (CC) en curso -provocado especialmente por la actividad humana industrial- ha forzado a la humanidad a desarrollar energías que no liberen Gases de Efecto Invernadero (GEIs). La mejor respuesta hasta ahora, es el uso de hidrógeno verde. El contenido energético del hidrógeno permite que al reaccionar con el oxígeno -en una violenta combustión- alcance temperaturas de hasta 1.500°C y produzca sólo agua. Lo ideal entonces es utilizar energías limpias para separar el hidrógeno del agua, envasarlo y llevarlo a sus puntos de uso, donde cerrando el ciclo producirá otra vez energía y agua. Las energías limpias las producen los recursos naturales renovables, cuya energía la toman del sol, o de la energía cinética de corrientes de agua, mareas o aire. Es un ciclo abierto, pero virtuoso, porque la fuente de toda esa energía es el sol que -en escala humana- es eterno.

La tecnología extractiva de hidrógeno más limpia es la electrolisis del agua que -electricidad mediante- separa los átomos de hidrógeno y oxígeno del agua. Desde luego, se necesitan otras tecnologías para almacenar y transportar el hidrógeno. Dichas tecnologías ya existen y lo que queda por resolver son problemas de escala y costos. La escala de producción -con el advenimiento de los vehículos aéreos, acuáticos y terrestres y el reemplazo de los combustibles fósiles por electricidad a escala planetaria- requiere masivas inversiones en generadoras limpias, líneas de transmisión, almacenamiento, distribución, etc.

Por otra parte, los costos de producción deben reducirse aproximadamente entre tres y cinco veces y las inversiones para desarrollar un mercado global de hidrógeno -según una estimaciones de la Unión Europea- serán del orden de US\$ 560.000 millones. Por su parte, China estima un parque de vehículos eléctricos que demandará US\$155.000 millones hacia el año 2025. Australia invertirá US\$ 214 millones para acelerar el desarrollo de cuatro centros de hidrógeno con 26 GigaWatts (GW) de capacidad. Japón, Estados Unidos y Corea del Sur, por su parte hacen fuertes inversiones en el desarrollo de infraestructura.

Además, es necesario consignar que -en Holanda- Royal Dutch Shell Plc lidera un consorcio involucrado en un proyecto para producir hasta 10 GW de hidrógeno verde hacia 2040. La alemana RWE AG, junto con otras 26 compañías, planea establecer unidades de electrólisis en el Mar del Norte con capacidad de 10 GW hacia 2035 y Airbus SE de Europa está trabajando en diseños para aviones impulsados por hidrógeno.

Finalmente, la inclusión del hidrógeno verde ha proporcionado un gran impulso al pronóstico de demanda del segmento no regulado de Chile que, según una estimación anterior sin incluir el combustible, se esperaba que fuera de 67.900GWh en 2040. Ahora, en cambio, se espera que el segmento consuma 94.500GWh en ese año, un aumento del 40%.

## Contexto

Este documento es un análisis especializado, sujeto a los criterios de validez, confiabilidad, neutralidad y pertinencia que orientan la labor de Asesoría Técnica Parlamentaria, en el apoyo al debate legislativo. El tema y el contenido del mismo responden a los criterios y plazos acordados previamente con el requirente.

El hidrógeno es el primer elemento que se formó después del *Big Bang*. Es el más simple, liviano y antiguo. En el dominio de la energía, el hidrógeno es la nueva estrella ascendente. En sus variedades gris, azul o verde -cada una menos contaminante que la anterior- parecen abrir un futuro de energías limpias para el planeta. Las expectativas son altas y los desafíos múltiples. ¿por qué ahora y no antes? Simplemente porque extraerlo de sus compuestos no es fácil, así como su contenido energético -liberado durante su combustión- es alto, así su separación de los compuestos donde normalmente se encuentra requiere mucha energía. Energía que la coyuntura actual requiere que sea limpia, es decir, que no produzca gases de efecto invernadero (GEIs). Las tecnologías basadas en recursos naturales renovables han permitido la generación de energías limpias que facilitan la extracción del hidrógeno de sus compuestos, especialmente del agua.

## I Introducción

---

Este informe responde a una solicitud parlamentaria. En su elaboración se ha consultado literatura especializada sobre el hidrógeno y sus usos en la producción de energía eléctrica con una huella de carbono nula. Las traducciones son del autor.

## II ¿Por qué el hidrógeno?

---

La respuesta es simple: combustiona, alcanza altas temperaturas (hasta 2.127°C<sup>1</sup>, temperatura que otras fuentes de energía no alcanzan) y es de combustión limpia. Es decir, no produce CO<sub>2</sub> ni otros gases de efecto invernadero, (GEI) sino sólo calor y vapor de agua.

Por otra parte, los paneles solares y las turbinas eólicas han demostrado ser importantes factores en la multifacética solución propuesta para postergar el punto de inflexión en la tasa de aumento de la temperatura global, producto de la transición climática<sup>2</sup>. Sin embargo -a pesar de ello- actividades como la fabricación de acero, por ejemplo, requieren temperaturas más altas que las alcanzadas los hornos eléctricos tradicionales.

Dado lo anterior, los planes para atenuar el cambio climático ahora prevén un importante rol para el hidrógeno en la reducción de las emisiones industriales y para alimentar automóviles, camiones, barcos y aún aeronaves. La combustión del llamado hidrógeno verde<sup>3</sup> es esencialmente libre de emisiones. Pero cumplir con los ambiciosos planes que se están haciendo, requiere construir una industria gigante casi desde cero<sup>4</sup>.

## III ¿Como se produce?

---

Para satisfacer el criterio “cero emisiones”, el proceso más limpio para producir hidrógeno es la electrólisis, un proceso que envía una corriente eléctrica a través del agua -en un dispositivo conocido como electrolizador- donde se separan los átomos de hidrógeno y oxígeno. Si la electricidad utilizada para hacer funcionar el electrolizador proviene de fuentes renovables, es decir libre de emisiones de

---

<sup>1</sup> “Adiabatic Flame Temperature”. Disponible en: <http://bcn.cl/2ys5p>. Marzo 2022.

<sup>2</sup> IPCC. “Calentamiento global de 1,5°C”. Disponible en: <http://bcn.cl/2ym2j>. Marzo 2022.

<sup>3</sup> Se le llama hidrógeno verde porque podría producirse con una muy baja huella de carbono. N. del A.

<sup>4</sup> Vanessa Dezem. Bloomber Green. “Why Hydrogen Is the Hottest Thing in Green Energy”. Disponible en: <http://bcn.cl/2ym2k>. Marzo 2022.

GEI, entonces el hidrógeno producido es rotulado “hidrógeno verde”. Posteriormente, en las pilas de combustible, el proceso se invierte: el hidrógeno se mezcla con oxígeno para producir solamente agua y electricidad<sup>5</sup>.

#### **IV ¿Existen otras tecnologías para la producción de hidrógeno?**

---

En la actualidad, la mayor parte del hidrógeno utilizado como combustible se deriva separándolo de las moléculas de gas natural. Pero eso requiere una buena cantidad de energía y también produce dióxido de carbono, lo que lleva a algunos a llamar a esto hidrógeno gris, en contraste con el verde. Hidrógeno azul es el nombre utilizado si el dióxido de carbono producido es capturado y almacenado; se cuenta como un combustible de bajas emisiones<sup>6</sup>.

##### **Producción de hidrógeno gris, azul y púrpura**

La producción de hidrógeno gris por “reformado con vapor” funciona preferentemente sobre hidrocarburos ligeros, es decir, con puntos de ebullición inferiores a 200°C, que deben ser limpiados de toda impureza (azufre, arsénico, halógenos, entre otros) antes de su procesamiento. La carga utilizada puede ser gas natural, metano o gas licuado de petróleo. Básicamente, el proceso consiste en la exposición de la carga a vapor de agua a alta temperatura y a una presión moderada. Como resultado de la reacción química se obtiene fundamentalmente hidrógeno, monóxido y dióxido de carbono y otros compuestos. Estas reacciones ocurren generalmente a temperaturas comprendidas entre los 800 y 950°C con presiones entre 1,5 a 3,0 MPa. La producción del hidrógeno azul es igual, pero con captura de CO<sub>2</sub><sup>7</sup>.

#### **V ¿Qué obstáculos enfrenta el hidrógeno verde?**

---

No pocos. Según Ademe<sup>8</sup> (Agence de la transition écologique), el factor de conversión de la cadena de potencia a hidrógeno a potencia es aún bajo: un factor de conversión 25% a 35% dependiendo de los supuestos. Conviene aclarar que factor de conversión de 25%, significa para obtener hidrógeno verde que contenga una cierta cantidad de energía se debe utilizar una cantidad de energía cuatro veces mayor que la energía contenida en el hidrógeno verde producido. Es decir, la energía obtenida como hidrógeno verde es sólo una cuarta parte de la energía invertida en su síntesis.

Por otra parte, un análisis de BloombergNEF<sup>9</sup>, el precio actual de producción de hidrógeno verde está entre US\$ 2.50 y US\$ 4.50 por kilogramo, precio que tendría que caer bajo US\$1 por kilogramo para ser competitivo con el hidrógeno producido desde combustibles fósiles. BNEF proyecta que ese nivel se alcanzará hacia 2030, siempre y cuando se experimente una vasta expansión de la capacidad de los electrolizadores y un gran aumento en la generación de electricidad, en una etapa en que los generadores y las redes del mundo se esforzarán para satisfacer la demanda de vehículos electrificados. Además, siendo el gas más ligero del universo, el hidrógeno debe comprimirse o mezclarse con gas

---

<sup>5</sup> *Ibidem.*

<sup>6</sup> *Ibidem.*

<sup>7</sup> “Generación de Energía a partir de Hidrógeno”. Disponible en: <http://bcn.cl/2ym2n>. Marzo 2022.

<sup>8</sup> Ademe.” Hydrogene energy and fuel cells”. Disponible en: <http://bcn.cl/2ym2r>. Marzo 2022

<sup>9</sup> Climatescope 2020. “Emerging Markets Outlook 2020. Disponible en: <http://bcn.cl/2ym2t>. Marzo 2022.

natural para enviarlo a través de una tubería o enfriarse a un estado líquido para ser transportado por barco, lo que aumenta sus costos en comparación con el gas natural<sup>10</sup>.

## **VI ¿Quiénes lideran la carrera por el hidrógeno verde?**

---

La Unión Europea ha hecho del hidrógeno verde un componente central de su plan *Green Deal*, previendo hasta 470.000 millones de euros (560.000 millones de dólares) en inversiones públicas y privadas para 2050 con el objetivo de poner en marcha un mercado global de hidrógeno. Además se ha fijado un ambicioso objetivo: la construcción de electrolizadores capaces de convertir 40 gigavatios de electricidad renovable en hidrógeno verde para 2030. Alemania ha declarado que, hacia el año 2045, el hidrógeno verde desempeñará un papel central en la transformación de la base industrial del país en una actividad cero emisiones<sup>11</sup>.

## **VII ¿Qué se hace en otros lugares?**

---

El objetivo de China es tener 1 millón de vehículos propulsados por pilas de combustible de hidrógeno en sus carreteras para fines de 2030. El valor de su producción de hidrógeno podría alcanzar 1 billón de yuanes (US\$155.000 millones) para 2025, según la Alianza del Hidrógeno de China. Australia invertirá US\$214 millones para acelerar el desarrollo de cuatro centros de hidrógeno con 26 GigaWatts (GW) de capacidad. Japón, donde Toyota Motor Corp. ha invertido fuertemente en tecnología de celdas de combustible, es el líder mundial en estaciones de reabastecimiento de hidrógeno, mientras que Corea del Sur está construyendo abastecimiento de combustible y otra infraestructura en seis ciudades donde espera hacer del hidrógeno la principal fuente de energía para 2025.<sup>12</sup>

Por su parte, Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU.) tenía -hacia 2019- 6.500 autos eléctricos de pila de combustible operando, la flota más grande del mundo. La administración de Joe Biden se ha fijado el objetivo de reducir en un 80% el costo del hidrógeno renovable para 2030. Los grupos de la industria, incluidas algunas compañías de combustibles fósiles, están presionando por créditos fiscales para la producción de hidrógeno y por subsidios para convertir los gasoductos de gas natural para transportar hidrógeno<sup>13</sup>.

## **VIII ¿Qué hace el mundo de los negocios?**

---

La mayoría de las compañías energéticas del mundo y los grandes grupos industriales están involucrados en el hidrógeno de alguna manera. Royal Dutch Shell Plc lidera un consorcio involucrado en un proyecto para producir hasta 10 GW de hidrógeno verde hacia 2040. La alemana RWE AG, junto con otras 26 compañías, planea establecer unidades de electrólisis en el Mar del Norte con capacidad de 10 GW hacia 2035. Airbus SE de Europa está trabajando en diseños para aviones impulsados por hidrógeno<sup>14</sup>.

---

<sup>10</sup> *Op.Cit.* Vanessa Dezem. Bloomberg Green “Why Hydrogen Is the Hottest Thing in Green Energy”

<sup>11</sup> *Ibidem.*

<sup>12</sup> *Ibidem.*

<sup>13</sup> *Ibidem.*

<sup>14</sup> *Ibidem.*

## IX Expectativas para Chile

---

Hace un año atrás, el informe *Climatescope 2020* de *Bloomberg New Energy Finance*, posicionó a Chile como el más atractivo del mundo para el desarrollo de energías limpias dentro de 108 países emergentes, además de 29 países desarrollados. Para aquello, *Climatescope* consideró la idoneidad de los países para la inversión y el despliegue de energía limpia. Junto a esto, y tomando en consideración los atributos que presenta el país, coincidentemente, la Agencia Internacional de Energía (IEA) planteó que, por las favorables condiciones naturales para producción de energías renovables, Chile podría producir el hidrógeno verde más competitivo del planeta y a gran escala<sup>15</sup>. *Climatescope 2021*<sup>16</sup>, posicionó a Chile en la quinta posición entre los países emergentes y en el número 26 en el ranking global<sup>17</sup>.

En términos de inversiones para el desarrollo de energías limpias durante el año 2020, Chile figura entre los quince países que dan cuenta de un 88% de la inversión global, con US\$5.000 millones en energía eólica y solar<sup>18</sup>.

Por su condición de vector energético, el H2 representa la oportunidad para que Chile pueda almacenar y exportar electricidad basada en energías renovables a bajo costo. La posibilidad de abastecer industrias distantes, le permitiría satisfacer una demanda global de industrias ávidas de energía limpia, que incluiría países que importan energía, así como también a proveedores de electricidad renovable, productores de gas industrial, empresas de servicios públicos de electricidad y gas, y fabricantes de automóviles.

Según GIZ (2021)<sup>19</sup>, Chile podría exportar hidrógeno como metanol, desde el norte de Chile a Alemania, con un costo de envío por barco que constituiría menos del 5% del costo total para el 2025, mientras que, en el caso de la exportación del hidrógeno a través de amoníaco, el costo de envío sería menos del 6%. Por lo anterior, la distancia entre el origen y el destino no jugaría un papel relevante en el costo del energético, lo que no implicaría una pérdida de competitividad por dicho factor (GIZ, 2021).

Mackinsey (2020)<sup>20</sup>, por otra parte, señala que al año 2050, Chile podría proveer parte significativa del hidrógeno verde del mundo, es decir, 50% del mercado de Japón, y de Corea del Sur, y el 20% del mercado chino, requiriendo una producción de 25 Mt al año, equivalente al 5% de la demanda global de hidrógeno y 1% de la demanda de energía global. Esto representaría más de 30 billones UDS de ingresos al año. La figura 1 da cuenta de los costos de transportar hidrógeno líquido en el puerto de destino, dando cuenta de la oportunidad de exportación de Chile a Asia.

---

<sup>15</sup> “Ranking Climatescope de Bloomberg posiciona a Chile como el mejor país para invertir en energías renovables”. Disponible en: <http://bcn.cl/2ym2x>. Marzo 2022.

<sup>16</sup> Climatescope 2021. Disponible en: <http://bcn.cl/2ym36>. Marzo 2022.

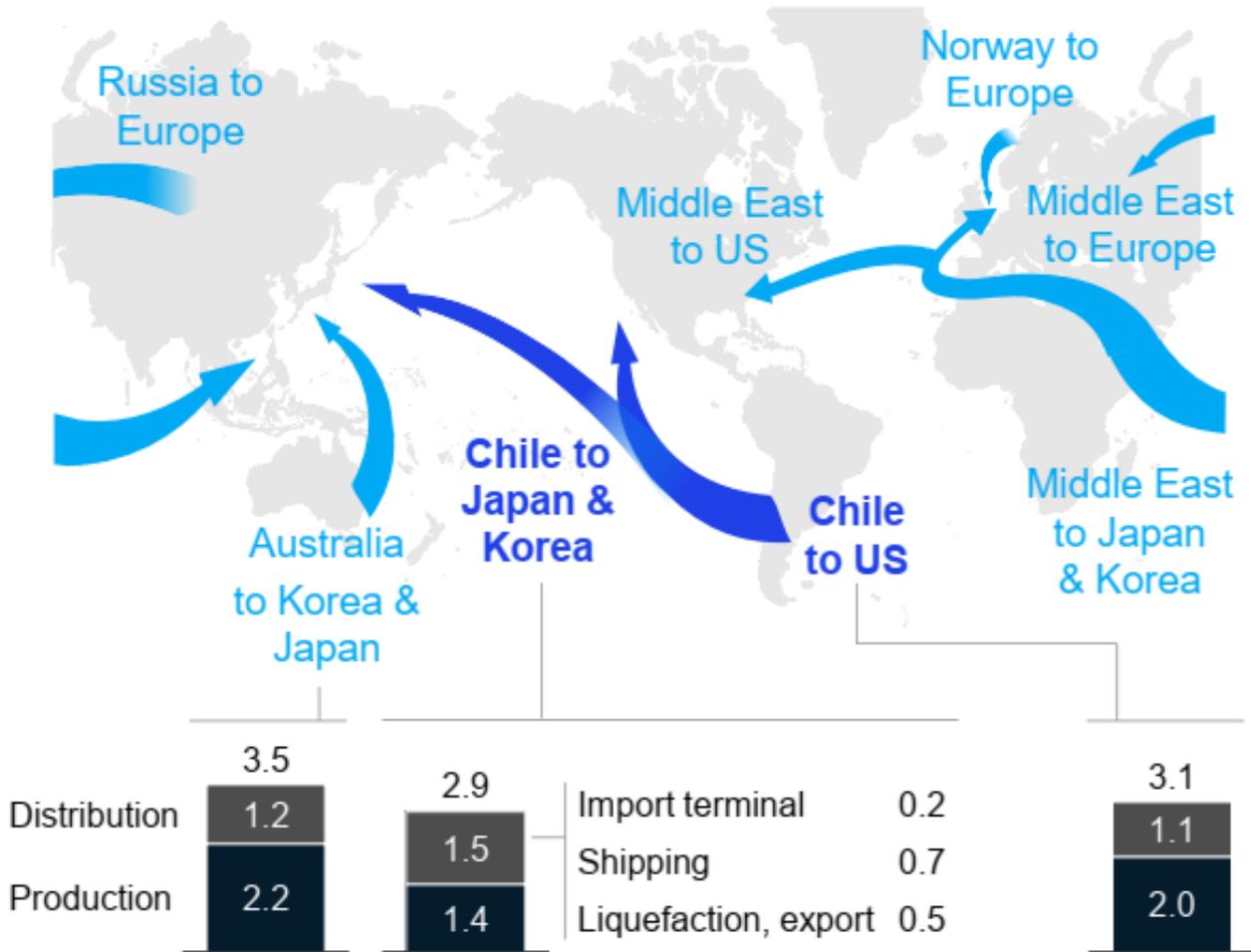
<sup>17</sup> *Ibidem*.

<sup>18</sup> *Ibidem*.

<sup>19</sup> GIZ 2021. “Conditions and Opportunities of Green Hydrogen Trade from Chile to Germany and Japan”. Disponible en: <http://bcn.cl/2ym3b>. Marzo 2022.

<sup>20</sup> “Perspective on Hydrogen”. Disponible en: <XXXXXXX>. Marzo 2022.

Figura 1: Rutas de transporte global de hidrógeno. Costo del hidrógeno líquido en el puerto de destino, USD/kg, al año 2030.



Fuente: Perspective on Hydrogen.

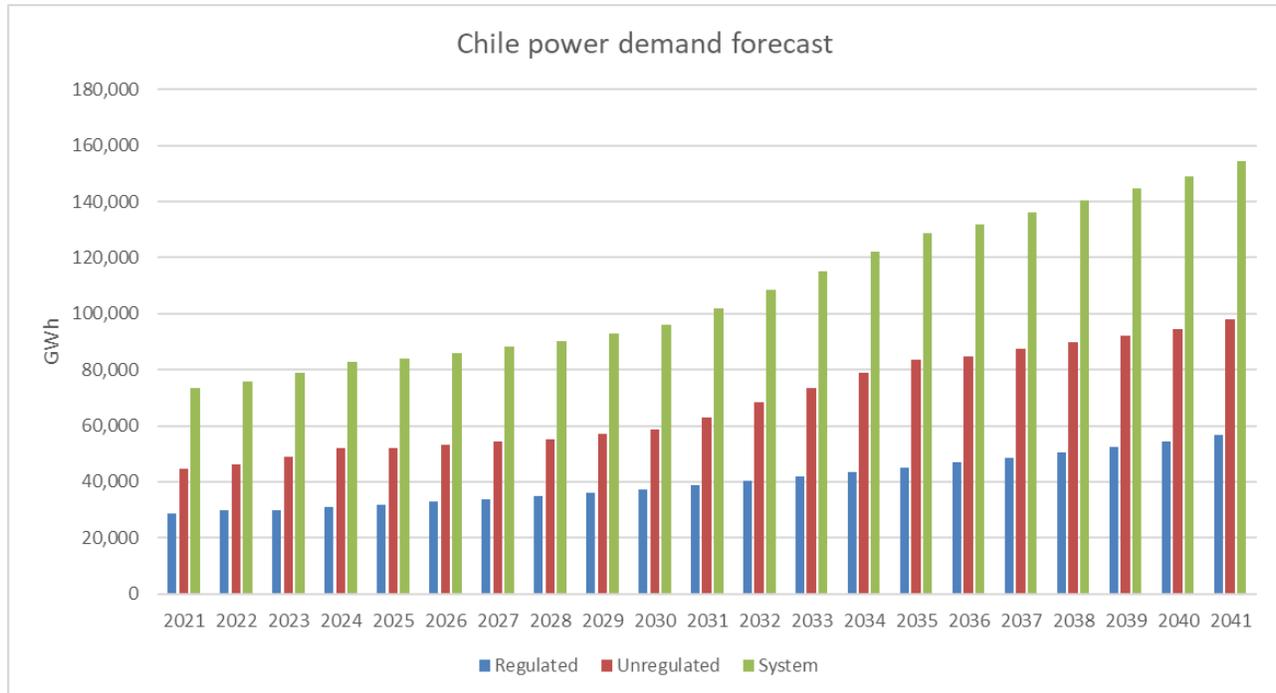
Recientemente, la publicación de análisis económico Bnamericas publicó el artículo titulado “Los planes chilenos para el hidrógeno verde casi duplican las proyecciones de aumento de la demanda de energía”<sup>21</sup>. La inclusión del hidrógeno verde en el mix energético de Chile modificaría radicalmente las predicciones de demanda de energía del país, al agregar unos 37,000GWh de nuevo consumo en 2040.

Además, cita un nuevo informe de la Comisión Nacional de Energía (CNE) el organismo regulador del sector energético de Chile, elaboró una versión preliminar del pronóstico anual de demanda de energía, que muestra que el gobierno chileno espera que la industria del hidrógeno verde extraiga 199GWh de la red a partir de 2023. Esta demanda crecería progresivamente en las décadas siguientes, alcanzando

<sup>21</sup> “Chile's green hydrogen plans almost double power demand growth forecasts”. Disponible en: <http://bcn.cl/2ym3h>. Marzo 2022.

459GWh en el año 2025, 3.377GWh en 2030 aumentando hasta 27.979GWh hacia 2035<sup>22</sup>. La Figura 2 despliega un gráfico de la demanda agregada anual de energía esperada, hasta el año 2041.

Figura 2. Crecimiento agregado anual esperado de la demanda de energía



Fuente: BNamericas with CNE data

Para el año 2040, 10 años antes de su objetivo de convertirse en carbono neutral, el país requerirá una alta penetración de combustibles limpios. Se espera que la producción de hidrógeno suministre unos 37.400GWh de energía eléctrica, más del 50% de toda la demanda actual del país. La inclusión del hidrógeno verde ha proporcionado un gran impulso al pronóstico de demanda del segmento no regulado de Chile que, según una estimación anterior sin incluir el combustible, se esperaba que fuera de 67.900GWh en 2040. Ahora, en cambio, se espera que el segmento consuma 94.500GWh en ese año, un aumento del 40%<sup>23</sup>.

El ajuste llevó a que el pronóstico de demanda anterior de CNE creciera de 2.1% anual en las próximas dos décadas a 3.8%. La posibilidad de expandir la demanda de Generación de Energía Verde en Chile, estimulando nuevos proyectos de energías renovables más allá de las limitaciones tradicionales de demanda de energía del país, ha entusiasmado durante mucho tiempo a la industria de las energías renovables<sup>24</sup>.

<sup>22</sup> "INFORME PRELIMINAR DE PREVISIÓN DE DEMANDA 2021-2041". Disponible en: <http://bcn.cl/2ys5r>. Marzo 2022.

<sup>23</sup> *Ibíd.*

<sup>24</sup> *Ibíd.*



Creative Commons Atribución 3.0  
(CC BY 3.0 CL)