

# HIDRÓGENO VERDE: NUEVOS DESAFÍOS DE SEGURIDAD PARA CHILE EN LA TRANSICIÓN DE LA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

*Green Hydrogen: New security challenges for Chile in the transition of the global energy matrix.*

Juan Pablo Rojas Moya<sup>1</sup>

**Resumen:** El presente artículo muestra los aspectos relevantes que debe enfrentar Chile ante una de las mayores oportunidades en su historia para conseguir el tan anhelado desarrollo, a través de la creación y fortalecimiento de una industria en torno al denominado Hidrógeno Verde. Para esto, se plantea un recorrido revisando los fundamentos de la energía y su influencia en el desarrollo de la humanidad, en los mercados internacionales, el contexto geopolítico que ha gobernado los conflictos en torno a la industria energética, la amenaza global del cambio climático, los fundamentos del hidrógeno como alternativa de combustible, el potencial de Chile para liderar esta industria internacional y finalmente los desafíos de la defensa para salvaguardar este desarrollo futuro.

**Palabras claves:** Hidrógeno Verde, Mercados Energéticos, Chile, Cambio Climático.

**Abstract:** This article shows the relevant aspects that Chile must face on front of one of the greatest opportunities in its history to achieve the long-awaited development, through the creation and strengthening of an industry around the so-called Green Hydrogen. For this, it's presents a journey reviewing the fundamentals of energy and its influence on the development of humanity, at international markets, the geopolitical context that has governed the conflicts around the energy industry, the global threat of climate change, the fundamentals of hydrogen as a fuel alternative, Chile's potential to lead this international industry and finally the defense challenges to safeguard this future development.

**Key words:** Green Hydrogen, Energy Markets, Chile, Climate Change.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Civil Mecánico de la Universidad de Chile. Diploma en Seguridad Internacional y Estudios Estratégicos de la Universidad de Chile y la Academia de Guerra del Ejército y Diploma en Toma de Decisiones Complejas de la Academia Nacional de Estudios Políticos y Estratégicos. Actualmente se desempeña como Jefe de Unidad en la Corporación del Cobre de Chile CODELCO. Email: jroja199@odelco.cl

## **Introducción: Energía, motor de crecimiento y desarrollo, el origen de las amenazas**

Antes de comenzar con el análisis propio en materia de seguridad asociada a la transición energética mundial producto del reemplazo de combustibles fósiles como fuente primaria, es fundamental comprender el rol que constituye la energía dentro del desarrollo de la humanidad.

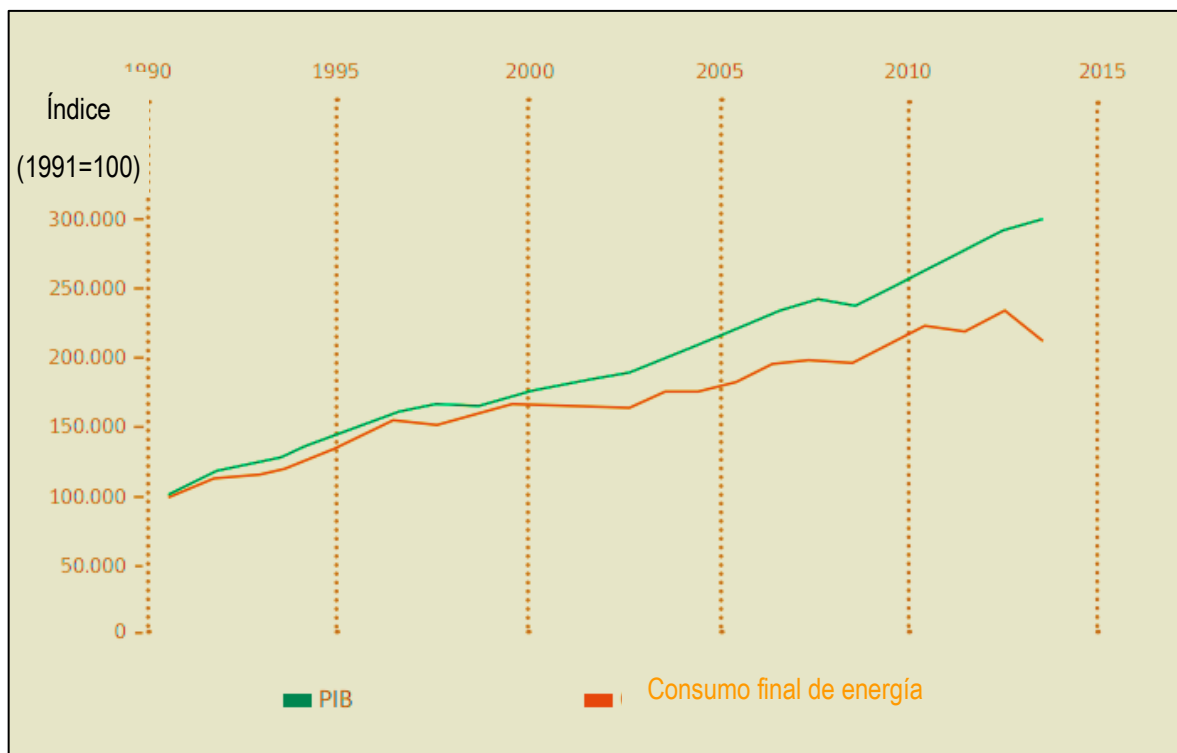
En el Informe sobre Desarrollo Humano de las Naciones Unidas, se define al desarrollo humano como el “aumento de las capacidades y oportunidades de las personas para ser y hacer aquello que tienen motivos para valorar” (Conceicao, 2020, p. 23).

La humanidad desde su origen ha basado su bienestar a la estrecha relación que ha generado con la energía. Desde el origen del hombre hasta el presente, se han desarrollado nuevas y mejores aplicaciones de la energía, desde el descubrimiento del fuego para calefacción y cocción de alimentos, hasta la invención de máquinas capaces de transformar la energía contenida en combustibles. Uno de los puntos de inflexión en esta larga historia de desarrollo ocurre en el siglo XVIII con la revolución industrial, dando paso al uso de combustibles fósiles, generando un vertiginoso crecimiento en las áreas tecnológicas, económicas y sociales, permitiendo a la humanidad nuevas formas de bienestar nunca vistas, como por ejemplo el transporte interoceánico a partir de la máquina de vapor o vuelos intercontinentales, a partir de la turbina a gas.

Ya en la actualidad, podemos observar un nivel de capacidades y oportunidades energéticas tal que nos permite satisfacer cada una de nuestras necesidades cotidianas, convirtiendo a la energía en general y a la electricidad en particular, en uno de los bienes más preciados. Para cuantificar este valor de bienestar moderno se suelen utilizar algunos parámetros económicos, como el producto interno bruto (PIB); este indicador es bastante útil, sobre todo evaluando su variación, ya que nos permite medir el valor económico agregado de una nación a través del tiempo. Si el PIB se compara con el consumo neto de energía, podremos encontrar una relación en la que el crecimiento económico arrastra un incremento del consumo de energía. Para ejemplificar esta situación podemos observar la siguiente figura, donde se grafica la relación entre el PIB y el consumo energético de Chile desde los años 90.

## Gráfico N°1:

### *Índice de consumo final de energía y PIB.*



Fuente: Banco Mundial, Balance Nacional de Energía.

A pesar de que la evidencia demuestra una relación positiva entre el PIB y el consumo de energía, no existe un consenso absoluto que permita establecer una regla general entre el aumento del consumo energético con el crecimiento y desarrollo de una nación, esto debido a que existen numerosos factores que diferencian la realidad de un país: geografía, estructuras económicas, estilos de vida y, fundamentalmente, las tecnologías de eficiencia energética.

Dado lo anteriormente expuesto, podemos concluir que la realidad de cada nación definirá la magnitud entre el crecimiento con el bienestar, sin embargo, ambas variables están relacionadas positivamente.

Es preciso señalar que este bienestar generado a partir de la energía y vinculado al aumento de capacidades y oportunidades puede ser limitado cuando se les establecen restricciones. De acuerdo con lo planteado por Romerio (2006), estas restricciones se pueden manifestar a través de: la pobreza, la tiranía, la represión, la intolerancia, la marginación y la falta de servicios. Cada uno de estos elementos segregadores impacta directamente sobre el rol que cumple la energía en este desarrollo de bienestar local. Sin embargo, a nivel global ocurre un fenómeno de segregación abismal, donde un 20% de la población mundial consume

el 80% de la energía producida. En contraste, casi un tercio de la población no tiene acceso a electricidad ni agua potable. Cada uno de estos factores, tanto locales como globales, son constituyentes de la desigualdad económica y del bienestar, pudiendo contribuir a generar amenazas en el statu quo de los mercados energéticos internacionales.

### **Influencia del costo energético y contexto geopolítico en los mercados internacionales actuales**

Como ya establecimos, la energía es fundamental en el desarrollo de una nación y es capaz de brindar bienestar a sus habitantes al mejorar su calidad de vida. Sin embargo, esta dependencia energética en países que no son capaces de cubrir sus demandas de consumo los hace vulnerables a las variaciones de precios de combustibles de los mercados internacionales. Por ejemplo, un incremento de precios del petróleo tiene como consecuencia una subida de los costos de producción, lo cual presiona el nivel de precios en general. Esto produce, particularmente en países con economías altamente dependientes de la importación de crudo, una destrucción de la demanda y un mayor desempleo (Löffler, 2014, p. 4).

Para comprender a ciencia cierta el desarrollo del mercado energético internacional actual, es necesario comprender cómo ha sido el desarrollo geopolítico mundial del último siglo respecto a productos energéticos claves como el petróleo. En 1945, el presidente de los Estados Unidos de América, Franklin Delano Roosevelt, firmó un convenio de cooperación con el rey Abdulaziz bin Saúd de Arabia Saudita<sup>2</sup>, en el cual, la nación norteamericana brindaría seguridad militar, tanto a la nación arábiga como a la familia real, asegurando su permanencia en el poder. Sin embargo, Arabia Saudita no fue la única nación con potencial de explotación de crudo, pues en conjunto con Irán, Irak, Kuwait, Bahrein, Qatar, Omán y los Emiratos Árabes Unidos<sup>3</sup>, agrupan más del 66% de las reservas mundiales de petróleo. Hacia inicios de la presente década, por el estrecho de Ormuz<sup>4</sup> cruzaban diariamente hacia los mercados internacionales 14 millones de barriles de petróleo, que atendían el 20% del consumo de Estados Unidos, el 43% de Europa Occidental y el 68% de Japón (López, 2008, p. 1).

Este convenio entre Estados Unidos y Arabia Saudita posibilitó en términos macroeconómicos una relativa estabilidad internacional en torno al precio del barril de crudo para los países occidentales, sin embargo, todo cambiaría el 11 de septiembre de 2001 con los atentados terroristas cometidos por el grupo islámico Al Qaeda, donde murieron 2.996 personas, más de 25.000 resultaron heridas y se estimaron los daños a la propiedad e infraestructura en más de 10 mil millones de dólares<sup>5</sup>. Previo a este atentado, la opinión

---

<sup>2</sup> Mayor productor de petróleo y nación con las mayores reservas conocidas de la época.

<sup>3</sup> El conjunto de estos países se denomina Golfo Pérsico, ya que sus costas colindan con dicho golfo marino.

<sup>4</sup> Estrecho brazo de mar ubicado a la salida del Golfo Pérsico.

<sup>5</sup> Ataque terrorista más mortífero en la historia de la humanidad y mayor desastre aéreo.

pública norteamericana y occidental en general no cuestionaba públicamente las relaciones internacionales con el régimen saudí, fundamentalmente por los beneficios económicos asociados a la adquisición de petróleo. Sin embargo, luego de los atentados, Estados Unidos declararía la denominada guerra contra el terrorismo, momento en el cual el gobierno norteamericano y los gobiernos de Europa occidental, pusieron en duda la conveniencia y apoyo a los corruptos regímenes del Golfo Pérsico, debido a que supondría un riesgo a la seguridad de los Estados Unidos y sus aliados. Finalmente, el 7 de octubre del 2001 Estados Unidos y la OTAN inician la “Operación Libertad Duradera”, invadiendo Afganistán y derrocando, posteriormente, al régimen Talibán, debido a su negativa de entregar a Osama bin Laden.

En este nuevo escenario geopolítico internacional, con el constante y creciente aumento de la demanda de crudo importado, la inestabilidad en medio oriente, la disminución de las reservas de petróleo de Estados Unidos, y el riesgo latente de limitar la producción de petróleo por parte de la OPEP<sup>6</sup>, con el objetivo de controlar el precio del crudo, son el caldo de cultivo perfecto para un incremento en las actividades de violencia y terrorismo. Sumado al emergente interés por parte de China y Rusia, no solo por los recursos petroleros del Golfo Pérsico, sino también por los recursos de la cuenca petrolífera del Mar Caspio, genera una amenaza de escalada de conflicto a nivel global.

Como era de esperarse, el precio del petróleo aumentó desde \$26 USD/barril en enero del 2001, hasta \$48 USD/barril en octubre del 2004<sup>7</sup>, y continuó subiendo debido al carácter político que adquirió el negocio.

### **La amenaza del cambio climático**

Como ya establecimos, desde el siglo XVIII con la revolución industrial, la humanidad comenzó un periodo de desarrollo y bienestar nunca visto, fundamentalmente por las nuevas formas de uso de la energía y sus aplicaciones. Esto impulsó un rápido crecimiento de la población a nivel mundial y consecuentemente, un consumo abismal de todo tipo de recursos para sostener los nuevos estándares de calidad de vida. Sin embargo, estos vertiginosos niveles de desarrollo y bienestar propiciaron que, por primera vez en la historia, la humanidad fuera la responsable de producir impactos globales en el planeta. Uno de los mayores impactos producidos son las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero, lo que conlleva a un peligro para el bienestar de gran parte de la humanidad y, particularmente, en algunos rincones del globo supone una amenaza a la supervivencia.

De acuerdo con lo planteado por Caballero (et al., 2007), el efecto invernadero es un mecanismo mediante el cual la Tierra comienza a calentarse. La atmósfera terrestre es una

---

<sup>6</sup> Organización de Países Exportadores de Petróleo.

<sup>7</sup> Precio del petróleo Brent.

delgada capa de gases que envuelve al planeta y es fundamental, ya que en ella residen los gases elementales para el desarrollo de la vida. La composición química de la atmósfera es mayoritariamente nitrógeno con un 79% y oxígeno con un 20%, el 1% restante se compone de diversos gases como el argón (0,9%) y el dióxido de carbono con un 0,03% aproximadamente.

En términos generales, del 100% de la luz solar<sup>8</sup> que llega al planeta tierra, aproximadamente un 30% de dicha radiación se refleja en la atmósfera hacia el espacio, otro 20% es absorbido por la atmósfera y permite calentar el aire, y el 50% restante consigue penetrar hasta la superficie sólida de la tierra. Este último porcentaje de radiación que llega a la tierra se absorbe y produce un calentamiento de la superficie, lo que a su vez produce que se emita desde la tierra hacia el espacio una nueva radiación, pero esta última se emite en una longitud de onda diferente a la recibida desde el sol. Esta radiación emitida desde la tierra es de longitudes de ondas largas, mayoritariamente en el espectro infrarrojo, y tiene la particularidad de que puede ser absorbida muy eficazmente por algunos gases atmosféricos, particularmente por el dióxido de carbono, óxido nítrico y metano; siendo este fenómeno la principal fuente de calor para la atmósfera.

Este fenómeno natural se denomina efecto invernadero, y permite que con una composición atmosférica de 0,03% de dióxido de carbono tengamos una temperatura promedio de 15 °C. Sin este fenómeno, se estima que la temperatura media del planeta no superaría los -15 °C, condenando a la superficie de la tierra a un congelamiento permanente.

Es evidente que la composición y proporciones de gases en la atmósfera afecta de manera directa al clima. A mayor presencia de gases de efecto invernadero, la temperatura promedio del planeta aumentará, y viceversa. Este fenómeno de aumento de temperatura se conoce como calentamiento global.

Según lo planteado por Bárcena (et al., 2020), una de las principales causas del calentamiento global es el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero generados por las actividades humanas, en su mayoría por la quema de combustibles fósiles y por el cambio en el uso del suelo.

Este aumento de la temperatura de la tierra o calentamiento global trae consigo una serie de fenómenos asociados como la modificación de los patrones de precipitaciones, reducción de las reservas de nieve y hielo, un alza continua del nivel del mar y un agudizamiento de los fenómenos climáticos extremos, entre otros. Este conjunto de fenómenos se denomina cambio climático.

---

<sup>8</sup> El Sol emite energía en forma de radiación de onda corta, mayoritariamente en la banda del ultravioleta.

Estas transformaciones que podrían ser permanentes en el tiempo suponen un gran impacto en las actividades económicas, el bienestar social, el desarrollo humano y los ecosistemas; por lo que se convierte en el mayor desafío que enfrenta la humanidad en el siglo XXI, ya que se ponen en riesgo los recursos comunes del planeta, como la biodiversidad, los océanos, los polos y la atmósfera, amenazando la supervivencia de toda la vida existente en el planeta tierra.

### **Hidrógeno, ¿una solución viable?**

Sin duda alguna, las economías mundiales requieren de manera inmediata iniciar acciones de abatimiento del cambio climático, descarbonizando sus matrices energéticas a través del reemplazo de los combustibles fósiles por energías renovables, que a la vez permitan brindar seguridad, fiabilidad y continuidad de abastecimiento. Esto supone un gran desafío económico, principalmente para las naciones que aun dependen del uso de combustibles fósiles como sustento primordial para garantizar el suministro energético, o dicho en otros términos, para garantizar el bienestar de sus habitantes.

El hidrógeno es el elemento químico más abundante en el universo, y a su vez es el combustible con mayor densidad energética<sup>9</sup>. Tiene la capacidad de adaptarse para satisfacer las necesidades energéticas de todos los sectores industriales, puede ser usado como materia prima en la industria química, ser transportado con seguridad, ser almacenado generando stock de energía que podría ser utilizada en cualquier momento. Quizás su característica más relevante respecto al contexto climático es que su uso no produce gases de efecto invernadero, pues su combustión solo genera agua y liberación de calor.

En nuestro planeta, el hidrógeno no se encuentra en su estado puro, por lo que no puede clasificarse como una fuente de energía primaria, debido a esto, se le clasifica como un portador o vector energético.

Actualmente el hidrógeno es un combustible que puede producirse mediante una gran variedad de materias primas, sin embargo, el 96% del hidrógeno producido en el mundo se extrae a partir de combustibles fósiles y el 4% restante se fabrica a través del agua. La producción mundial de hidrógeno se estima en 65 millones de toneladas al año y emite aproximadamente 500 millones de toneladas de dióxido de carbono al año (Vásquez, Salinas, 2018, p. 15). Este hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles, en particular desde el gas natural se denomina hidrógeno gris, ya que en su proceso de producción se emiten gases de efecto invernadero.

A lo largo de la historia, las aplicaciones del hidrógeno se han basado fundamentalmente en la manufactura de productos químicos como el amoníaco, fibras

---

<sup>9</sup> Energía almacenada por kilogramo.

sintéticas y alcoholes, en la industria alimenticia a través de los procesos de hidrogenación de aceites orgánicos, en los procesos de refinamiento del petróleo y en usos en la industria espacial. Y es en la última década, donde su uso se ha expandido hacia industrias como el transporte, posibilitando en países como Alemania y Japón, el desarrollo comercial de automóviles, buses, camiones y trenes.

Pero, si el hidrógeno presenta características tan atractivas para ser utilizado como combustible, ¿Por qué aun no es masivo? La respuesta a esta interrogante se encuentra en el contexto económico, pues el costo de producción no lo hace competitivo aún con respecto a la producción de combustibles fósiles.

Desde el punto de vista medioambiental, el proceso de producción ideal de hidrógeno sería obtenerlo a partir de la descomposición química de la molécula de agua a través del uso de electricidad, lo que se conoce como electrólisis. Este método de producción no emite gases de efecto invernadero y la materia prima (agua) es una de las sustancias más abundante en el planeta. Sin embargo, se necesitan grandes cantidades de energía eléctrica para llevarlo a cabo, lo que encarece el costo de producción. Además, si dicha electricidad se produce a partir de procesos convencionales como termoeléctricas a carbón o gas natural, significa que el ciclo completo de producción de hidrógeno sí tiene un impacto en la emisión de gases de efecto invernadero.

### **Hidrógeno Verde: La alternativa ecológica, sustentable y competitiva**

Como ya vimos, las barreras que impiden que el hidrógeno se posicione como la mejor alternativa de reemplazo a los combustibles fósiles radica principalmente en el método de producción y el costo. Sin embargo, no tiene sentido producir hidrógeno a partir de combustibles fósiles, pues se siguen emitiendo gases de efecto invernadero a la atmosfera, manteniendo latente la amenaza del calentamiento global y el cambio climático.

Es evidente entonces, que el desafío se centra en poder producir hidrógeno a partir de la electrólisis, utilizando electricidad limpia y a un precio competitivo. Es aquí donde las energías renovables no convencionales adquieren un rol protagónico y fundamental, pues son la clave para suministrar electricidad sin emisiones de gases de efecto invernadero. Este hidrógeno producido por medio de la electrólisis del agua, utilizando como energía primaria a la electricidad con origen de fuentes renovables y libre de emisiones se denomina hidrógeno verde.

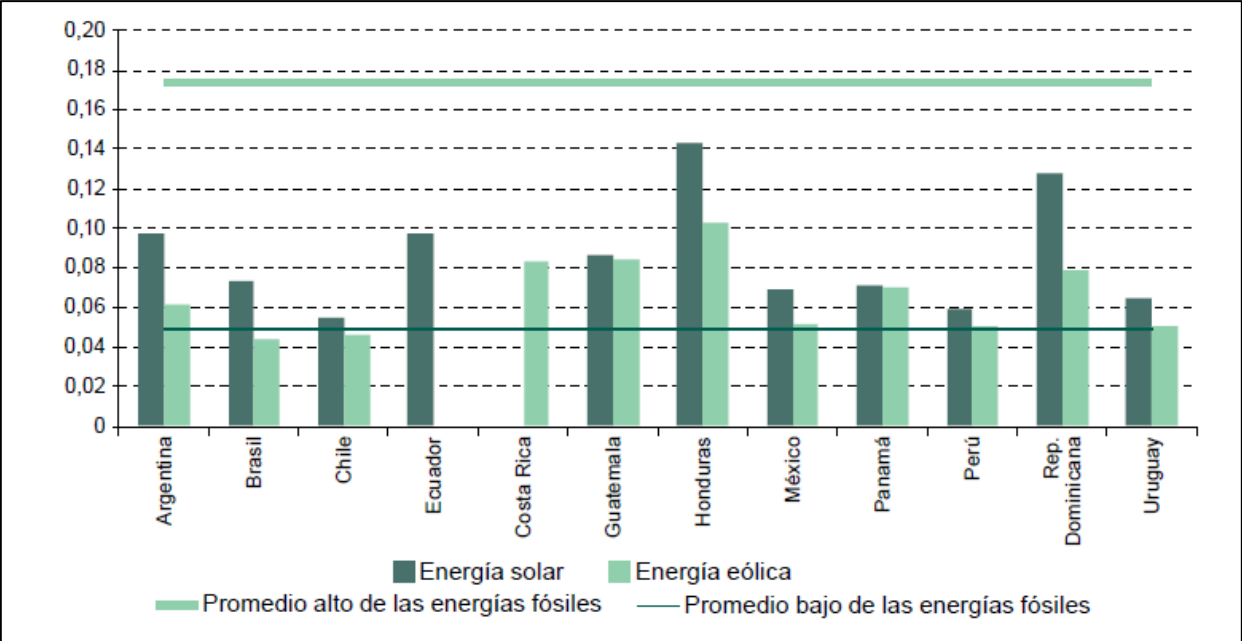
En el año 2020, ya era un hecho que el costo de generación de energía eléctrica a partir de energías renovables no convencionales es menor que el costo promedio de la energía producida a partir de combustibles fósiles. Y este costo de producción de energía limpia disminuye aún más en los países donde los recursos renovables como la energía solar y energía eólica son altamente abundantes, como es el caso de Chile. Existen datos del 2018



que señalan que el costo normalizado promedio de la energía eólica fue entre 0,044 y 0,10 dólares por kWh, el de la energía solar fue entre 0,058 y 0,14 dólares, mientras que el de la energía generada por medio de combustibles fósiles fue entre 0,049 y 0,174 dólares (Bárcena et al., 2020).

**Gráfico N°2:**

*América Latina y el Caribe: promedio del costo normalizado de la energía solar y eólica [USD/kWh].*



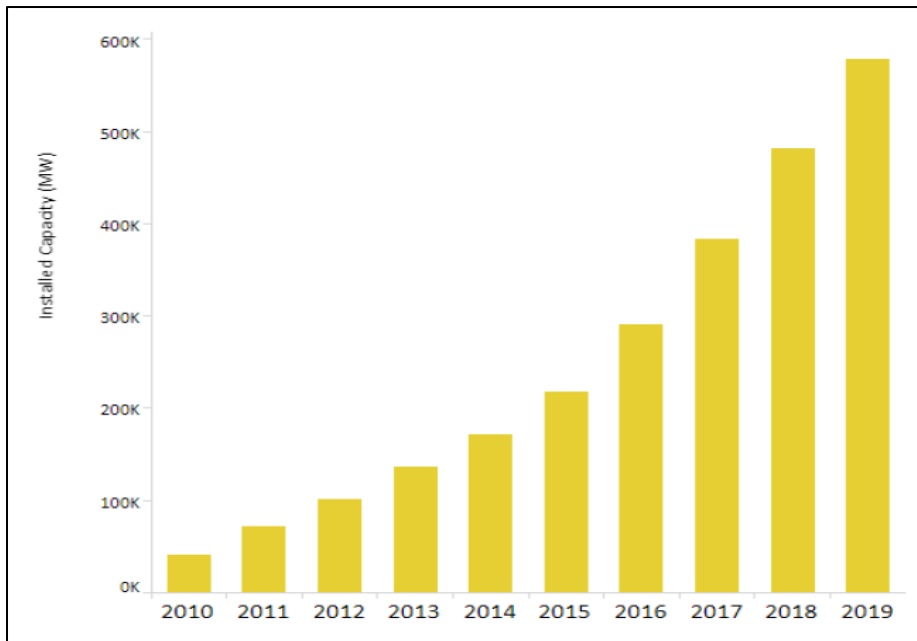
Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Si observamos las tendencias en conjunto con los escenarios geopolíticos globales actuales y la escases de nuevos yacimientos de combustibles fósiles, podemos concluir que el precio de estos combustibles continuará al alza. En comparación, las energías renovables como solar y eólica han desarrollado un auge sin precedentes en la última década, disminuyendo sus costos de generación y mejorando sus eficiencias. Esto ha significado que, a nivel mundial, la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica aumentó diez veces y la eólica onshore<sup>10</sup> se triplicó.

<sup>10</sup> Eólica onshore: corresponde a la energía producida con aerogeneradores instalados en tierra. La energía producida con aerogeneradores instalados en el mar se denomina offshore.

**Gráfico N° 3:**

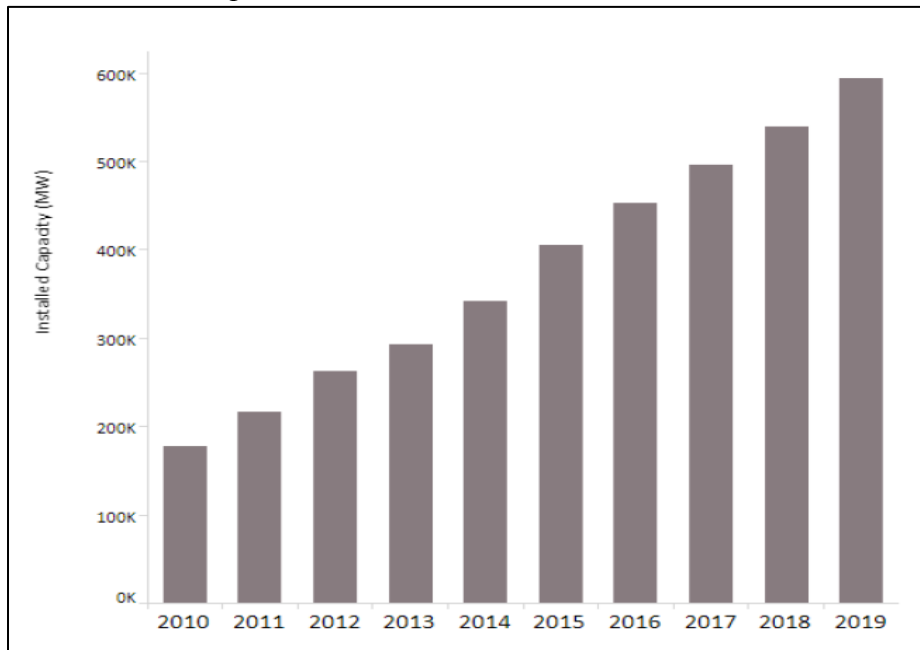
*Evolución mundial de la capacidad solar fotovoltaica instalada.*



Fuente: Agencia Internacional de Energia Renovable (IRENA).

**Gráfico N°4:**

*Evolución mundial de la capacidad eólica onshore instalada.*

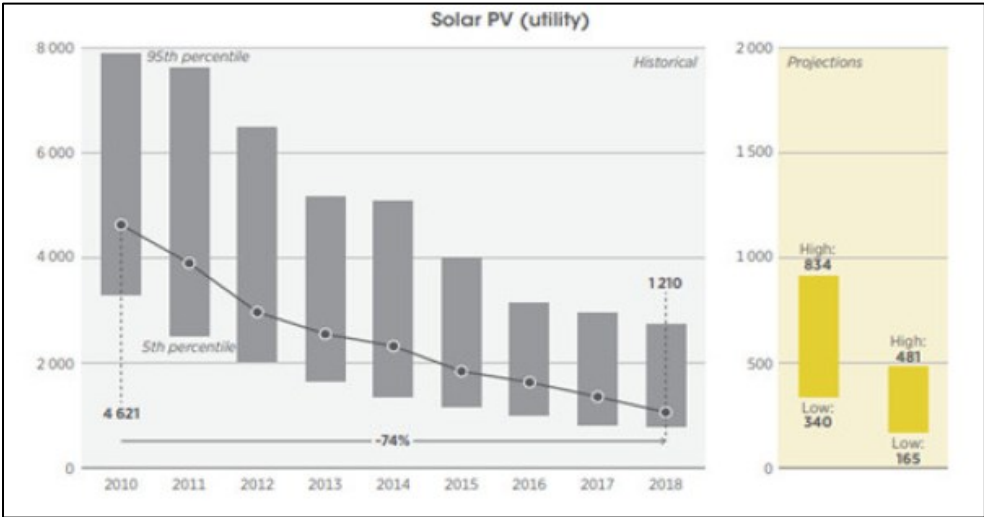


Fuente: Agencia Internacional de Energia Renovable (IRENA).

De acuerdo con los informes emitidos por la International Renewable Energy Agency (IRENA) los costos de instalación de energía solar fotovoltaica y eólica onshore han presentado una constante disminución y las perspectivas de futuro indican que al año 2030 y 2050, estos continuarán reduciéndose.

**Gráfico N° 5:**

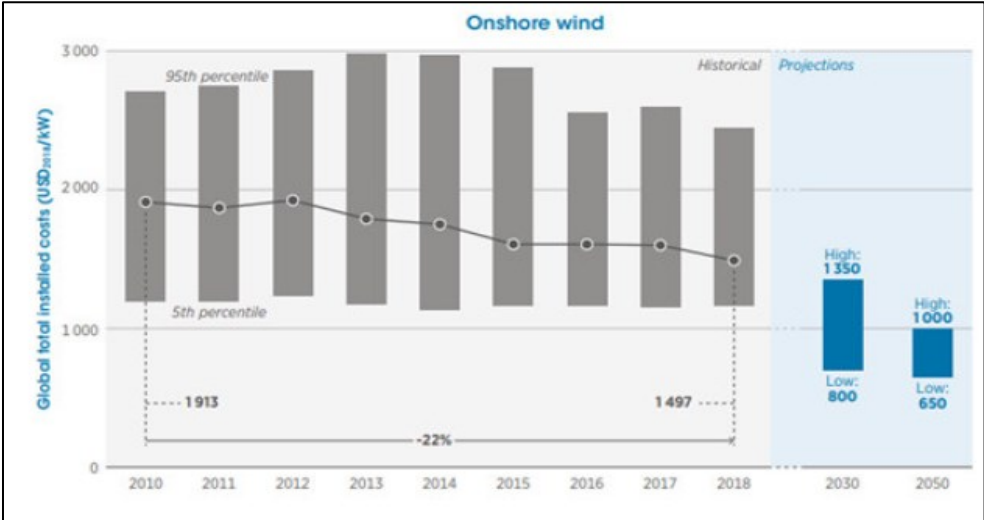
*Evolución de los costos de instalación solar fotovoltaica y sus proyecciones 2030-2050.*



Fuente: Future of Solar Fotovoltaic. Deployment, investment, technology, grid integration and socio economic aspect. November 2019 IRENA.

**Gráfico N° 6:**

*Evolución de costos de instalación eólica onshore y sus proyecciones 2030-2050.*



Fuente: Future of Solar Fotovoltaic. Deployment, investment, technology, grid integration and socio economic aspect. November 2019 IRENA.

Por lo tanto, con estos nuevos escenarios económicos futuros, la producción de hidrógeno a partir de energías renovables comienza a ser una realidad.

Uno de los principales problemas que presenta la matriz eléctrica basada en energías renovables, es su intermitencia, ya que el flujo de recursos es variable<sup>11</sup> durante las distintas horas del día y temporadas, generando que en ciertas horas la producción de energía sea insuficiente para satisfacer la demanda, y en otras, la producción es excesiva por lo que se debe restringir la generación debido a la incapacidad de la red eléctrica de almacenar energía. Esto genera que, para una cierta capacidad instalada, solo se produzca la electricidad que va a ser consumida, lo que se traduce en un desaprovechamiento de la energía que deja de producirse por falta de demanda.

Si las tendencias de capacidad instalada de energías renovables continúan en aumento, este desaprovechamiento se agudizará. Sin embargo, este fenómeno podría suponer una ventaja competitiva clave para el hidrógeno en el futuro, ya que estos remanentes eléctricos, en lugar de dejar de producirlos, podrían ser utilizados para la producción de hidrógeno a un costo aún más bajo.

Dadas estas proyecciones, se espera que, durante los próximos años, el hidrógeno verde se convierta en un medio indispensable en el reemplazo de los combustibles fósiles, sin afectar el bienestar de las naciones, y siendo la piedra angular en la mitigación de la mayor amenaza a la humanidad, el cambio climático.

### **Chile, referente global hacia la transición energética mundial**

“En el desierto del norte, con la radiación solar más alta del planeta, y con vientos fuertes y constantes en el sur, tenemos el potencial de energía renovable para construir 70 veces la capacidad de generación eléctrica que tenemos hoy. Esta abundante energía renovable permitirá ser el productor más barato de hidrógeno verde del planeta” (Ministerio de Energía, 2020, p. 4).

Con estas palabras, el ministro de energía de Chile, Juan Carlos Jobet (2019-2022) presentó la “Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde” (noviembre 2020), iniciativa que apunta a la creación y desarrollo de una industria en torno al denominado combustible del futuro.

De acuerdo con la argumentación antes expuesta, se puede determinar que el costo final de producción de hidrógeno verde estará marcado en gran parte por el costo de

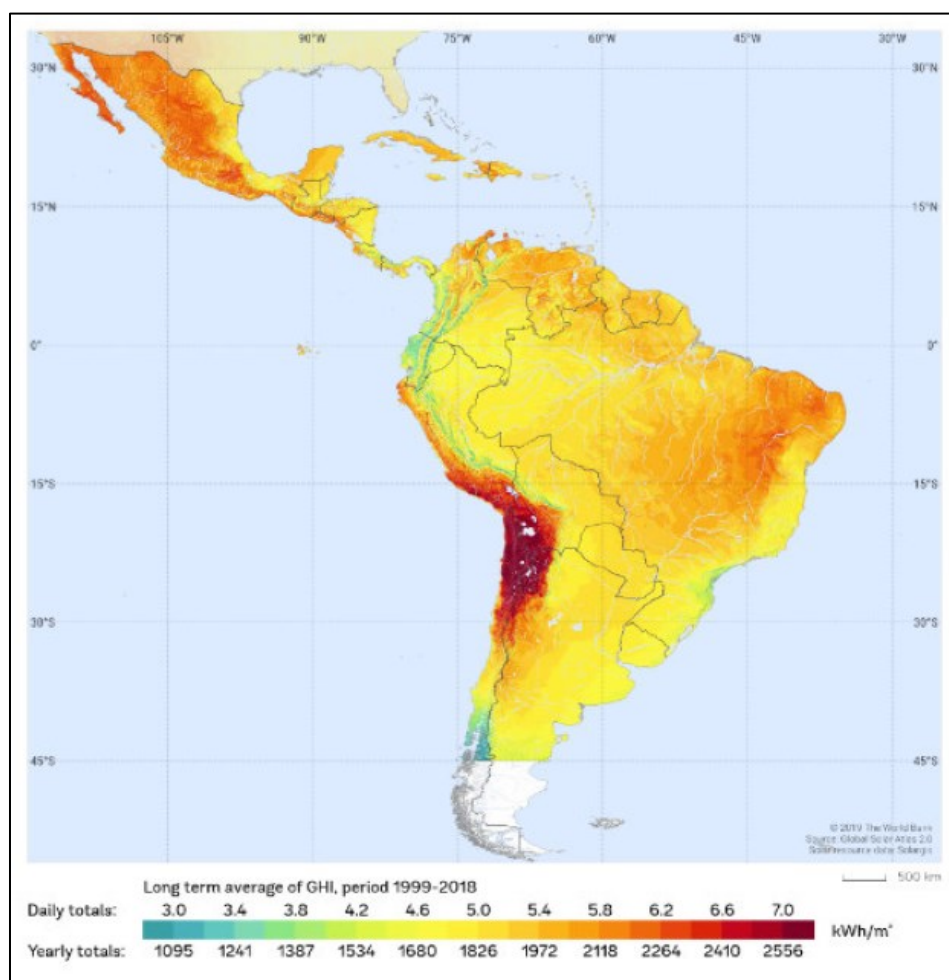
---

<sup>11</sup> En el caso de la energía solar fotovoltaica, solo puede producirse en horas de luz de sol. Y la generación de energía eólica dependerá de las condiciones y flujos de los vientos.

producción de la energía eléctrica con origen en fuentes renovables, por lo que los países que presenten las mejores condiciones para producir electricidad limpia tendrán el potencial de producir y vender el hidrógeno verde y sus derivados al menor costo. Esta es la razón que permite considerar a Chile como una futura potencia en materia de hidrógeno, ya que, tal como lo mencionó el ministro Jobet, en el norte de Chile existe la mayor concentración de radiación solar del mundo, lo que permitiría la producción eléctrica al menor costo. Similar es el caso de la energía eólica en el sur de Chile, ya que los permanentes vientos implican un mayor tiempo de giro de un aerogenerador o turbina eólica, obteniendo los mejores factores de planta<sup>12</sup>, por lo tanto, menores costos comparativos de producción de energía eléctrica. A continuación, se presentan los mapas de concentración de radiación solar en Sudamérica y de factores de planta eólicos.

**Figura N°7:**

*Mapa de irradiación global horizontal.*

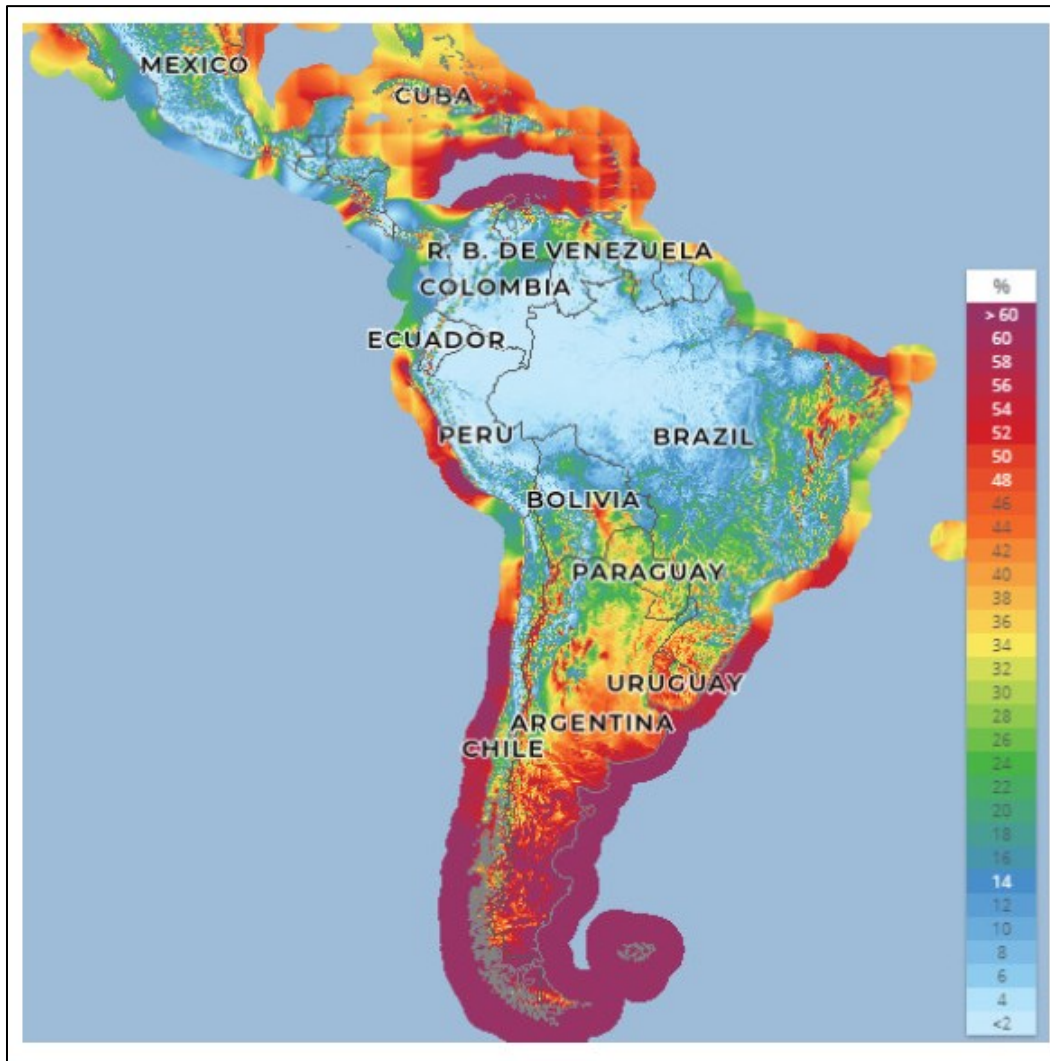


Fuente: Global Solar Atlas, Banco Mundial.

<sup>12</sup> Es el porcentaje del tiempo en que la planta se encuentra produciendo energía.

**Figura N° 8:**

*Mapa eólico de América Latina por factor de planta.*



Fuente: Global Wind Atlas, Banco Mundial.

Actualmente, la economía chilena se basa fundamentalmente en la extracción de materias primas y la exportación de productos vegetales, animales y minerales, lo cual la deja en una posición de extrema vulnerabilidad a los vaivenes de la economía internacional. La manera de superar esta condición es transitar hacia una diversificación de sus actividades, aumentando sus capacidades tecnológicas, pasando de una economía extractivista hacia una de bienes y servicios. Esta vulnerabilidad actual se acrecienta aún más debido a la dependencia nacional de adquirir en el mercado internacional los combustibles necesarios para mantener los actuales niveles de producción, desarrollo y bienestar. Por lo que la producción local de hidrógeno, su capacidad de almacenamiento y versatilidad de conversión en otras energías permitirá constituir un medio estratégico de seguridad energética. Esto se

traduce en una estabilidad económica en materia de precios del transporte y electricidad domiciliar e industrial, brindando a Chile un aislamiento de las consecuencias respecto a las variaciones del mercado internacional asociadas a los cambios de precios del petróleo y gas, entre otros. Esta seguridad energética podría ser la clave para que Chile consiga la tan anhelada categorización de país desarrollado.

Además de su potencial energético, el hidrógeno ( $H_2$ ) como insumo es un importante recurso ampliamente utilizado en diversas industrias, por lo que producirlo implicaría una captura de valor muy relevante. Ejemplo de esto es la industria del amoníaco ( $NH_3$ ), este compuesto requiere hidrógeno en su proceso de manufactura, y es empleado como componente para la fabricación de fertilizantes utilizados en agricultura. El amoníaco es el químico sintético más fabricado en el mundo. Otras aplicaciones del amoníaco incluyen su uso como gas refrigerante, limpiadores alcalinos y fabricación de colorantes, fibras, plásticos, explosivos, nylon y acrílicos.

Otra industria que requiere al hidrógeno como insumo es la producción de metanol. Para elaborarlo se requiere preparar gas sintético o Syngas, el cual a su vez requiere hidrógeno. El metanol es utilizado en la industria química para producir formaldehído y ácido acético, además de ser utilizado como combustible, anticongelante y disolvente industrial. Debido a la característica que el metanol se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente, se cree que podría reemplazar a la gasolina o al diésel en los automóviles, buses y camiones.

En la industria de alimentos, particularmente en la manufactura de aceites vegetales se utiliza hidrógeno, convirtiendo los aceites en grasas sólidas, como por ejemplo la margarina. En la producción de metales se utiliza el hidrógeno como un agente reductor, algunos de estos metales son el platino, germanio, renio, níquel, polvos de cobalto, tungsteno y molibdeno.

A pesar de que se desea disminuir el uso de combustibles fósiles producto de sus consecuencias para el medio ambiente, también es necesario reducir el impacto de esta transición en las economías menos desarrolladas, por lo que las industrias del petróleo, arenas petrolíferas y carbón continuarán existiendo. Estas industrias también utilizan hidrógeno en procesos como la hidrodesulfuración<sup>13</sup>, hidrocrackeo<sup>14</sup> y licuefacción de carbón<sup>15</sup>.

---

<sup>13</sup> Proceso químico que elimina el azufre del combustible.

<sup>14</sup> Proceso de descomposición de las moléculas de hidrocarburos pesados en gasolina y diésel.

<sup>15</sup> Producción de hidrocarburos líquidos por hidrogenación de carbón.

Finalmente, la última gran ventaja de desarrollar una industria en torno al hidrógeno es la transformación tecnológica y el desarrollo laboral en el país, pues contribuiría a la formación y especialización de capital humano, el cual incluso pudiese ser exportado.

### **Los desafíos de la Defensa para el Chile desarrollado**

De acuerdo con lo planteado respecto al contexto geopolítico en torno a la industria energética mundial, sin duda, esta transición hacia una matriz basada en hidrógeno no estará exenta de dificultades y amenazas. Es por ello por lo que cobra vital relevancia establecer de qué manera el sector Defensa garantizará que la transición de Chile hacia el desarrollo basado en esta nueva industria se produzca de la manera óptima, beneficiosa y segura para el país.

Este desarrollo se enmarca plenamente en la definición de los intereses nacionales: son aquellos fines y pretensiones del Estado, tanto permanentes como variables, posibles de ser alcanzados en el largo plazo; que guían y fundamentan el accionar estatal (Koch y Gallardo, 2016, p. 189), los cuales pueden individualizarse de la siguiente manera:

- Consolidación de la soberanía sobre el territorio nacional: El Estado de Chile debe consolidar la soberanía sobre su territorio, manteniendo de manera permanente su integridad. Este interés nacional es fundamental, pues en él se basa el aseguramiento de los recursos naturales capaces de brindar el bienestar en torno a la futura industria del hidrógeno.
- Protección de la población: El Estado de Chile debe brindar protección a toda la población que habita en el territorio nacional, sin perjuicio de su nacionalidad y a aquellos chilenos que se encuentren fuera del país. Este interés nacional es relevante debido a su capacidad de brindar protección a todo el capital humano estratégico que se desarrolle en torno al hidrógeno.
- Búsqueda del bien común: Al estado de Chile le interesa desarrollar el mayor nivel de bienestar para su población, independiente de sus preferencias, diferencias y semejanzas.
- Desarrollo económico sustentable: Al Estado de Chile le interesa asegurar la mejora constante de su situación económica, en cuanto a crecimiento y desarrollo sustentable y sostenible en el tiempo; con el objetivo de garantizar el pleno desenvolvimiento de sus habitantes.
- Posicionamiento de Chile en el escenario internacional: El Estado de Chile debe afianzar su posición en el escenario internacional, especialmente en el ámbito comercial y de la cooperación internacional; esto último reflejado en su participación en diversos foros y organismos multilaterales, en la ayuda humanitaria, en las operaciones de paz y en el desarrollo de herramientas que permitan superar la amenaza global del cambio climático.



Todos aspectos relevantes en el proceso de la generación de recursos energéticos, particularmente cuando se trata del hidrógeno verde, dado su condición de estratégico y los efectos que tiene en los contextos económicos, políticos y geopolíticos.

Estos intereses nacionales son la base de la subsistencia del Estado-nación, por lo que deben ser considerados permanentes y deben trascender más allá de los gobiernos de turno, pues aseguran su conservación.

Finalmente, estos intereses nacionales descansan bajo la garantía que les entregan las Fuerzas Armadas, pues se entrelazan plenamente a través de las misiones de cada una de ellas, contribuyendo a preservar la paz, garantizando la soberanía nacional, manteniendo la integridad territorial, marítima y del espacio aéreo, protegiendo a la población, instituciones y recursos vitales, y constituyendo una herramienta de la política exterior de Chile.

## Referencias

- Alcalde, Sergi, “Ventajas e Inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo”, National Geographic, 08 de diciembre de 2019, en [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo\\_14897](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897) [20 de noviembre de 2021].
- Bárcena, Alicia; Samaniego, José Luis, Peres, Wilson y Alatorre, José Eduardo (2020), *La Emergencia del Cambio Climático en América Latina y el Caribe*, Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Borst, Sara; Fortune, Rodrigo; Kirschner, Denise; Mayer, Christoph; Schüttler, Annika; Valdivia, Pamela y Wunderlich, Iris (2021), *La Transición Energética y el Emprendimiento, Oportunidades para Startups en el marco de la Cooperación entre Chile y Alemania*, Santiago de Chile, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.
- Caballero, Margarita; Lozano, Socorro Lozano y Ortega (2007), “Efecto Invernadero, Calentamiento Global y Cambio Climático: Una Perspectiva desde las Ciencias de la Tierra”, *Revista Digital Universitaria*, vol. 8, núm. 10, pp. 1 – 12.
- Castro, Sebastián y Castro, Felipe (2021), *Estudio del Mercado del Gas*, Santiago de Chile, Fiscalía Nacional Economía.
- Conceicao, Pedro (2020), *Informe Sobre Desarrollo Humano 2020*, Nueva York, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- Demian Inzulza, Juan Cristóbal (2021), *La Proyección Nacional hacia el Asia – Pacífico en Materia de Hidrógeno Verde*, Santiago de Chile, Centro de Investigaciones y Estudios Estratégicos ANEPE.
- Di Chiara, Lorena, (2021), “Planificación de Largo Plazo y Caracterización de Sistemas Eléctricos en América Latina en base a sus Recursos”, Tesis de Maestría, Universidad de la República Uruguay.
- Koch, Sebastián y Gallardo, Marjorie, (2016), “Los Intereses Nacionales de Chile”, en Mario Arteaga (eds.), *La Seguridad de Chile, Los Desafíos para el Sector Defensa en el Siglo XXI*, Santiago de Chile, Centro de Estudios Estratégicos CEEAG, pp. 183 – 194.
- López, José, (2008), “Geopolítica del Petróleo y Crisis Mundial”, *DYNA*, vol. 75, núm. 156, pp. 1 – 7.
- Löffler, Jennifer, (2014), “¿Qué impacto tiene el cambio energético en el comercio internacional?”, Tesis de Grado, Universidad Pontificia Comillas.
- Ministerio de Energía, (2020), *Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde*, Santiago de Chile, Gobierno de Chile.
- Plowman, J. Andrew, (2014), *Climate Change & Conflict Prevention*, Washington DC, National Intelligence University.
- Romerio, Franco, (2006), “La energía como fuente de crecimiento y desarrollo en la perspectiva del fin de la era de los combustibles fósiles”, *Economía Informa*, vol. 340, núm. 1, pp. 33 – 47.
- Vásquez, Rodrigo y Salinas, Felipe, (2018), *Tecnologías del Hidrógeno y Perspectivas para Chile*, Santiago de Chile, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.