

CIEE

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS ESTRATEGICOS
ANEPE

ISSN 0719-4110

CUADERNO DE TRABAJO N°7-2021



**LA PROYECCIÓN NACIONAL HACIA EL ASIA-PACÍFICO EN MATERIA DE
HIDRÓGENO VERDE**





CUADERNOS DE TRABAJO es una publicación orientada a abordar temas vinculados a la Seguridad y Defensa a fin de contribuir a la formación de opinión en estas materias.

Los cuadernos están principalmente dirigidos a tomadores de decisiones y asesores del ámbito de la Defensa, altos oficiales de las Fuerzas Armadas, académicos y personas relacionadas con la comunidad de defensa en general.

Estos cuadernos son elaborados por investigadores, académicos y colaboradores del CIEE de la ANEPE, pero sus páginas se encuentran abiertas a todos quienes quieran contribuir al pensamiento y debate de estos temas.

Recordamos a los autores que el Cuaderno de Trabajo está comprometido con la publicación de artículos originales e inéditos que difundan conocimiento actualizado en materias de seguridad, defensa y ciencias sociales afines, con el fin de aportar y transferir, con el propósito fundamental de aportar al debate académico múltiples enfoques que enriquezcan el análisis, la reflexión y la interpretación en torno a los temas disciplinares propios de la seguridad, la defensa y las ciencias sociales.



Antes de imprimir este Cuaderno, piense en el medio ambiente.

CUADERNO DE TRABAJO DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ESTUDIOS ESTRATÉGICOS es una publicación electrónica del Centro de Investigaciones y Estudios Estratégicos de la Academia Nacional de Estudios Políticos y Estratégicos y está registrada bajo el **ISSN 0719-4110 Cuad. Trab., - Cent. Estud. Estratég.**

Dirección postal: Avda. Eliodoro Yáñez 2760, Providencia, Santiago, Chile.

Sitio Web www.anepe.cl. Teléfonos (+56 2) 2598 1000, correo electrónico ciee@anepe.cl

Todos los artículos son de responsabilidad de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de la Academia.

Autorizada su reproducción mencionando el Cuaderno de Trabajo y el autor.

DIRECCIÓN DEL CUADERNO

DIRECTOR

Ariel Álvarez Rubio

Doctor en Estudios Americanos por la Universidad de Santiago, Chile. Magíster en Humanidades mención Historia, en la Universidad Adolfo Ibáñez. Investigador asociado Chihlee University of Technology de Taiwán.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1420-3074>

CONSEJO EDITORIAL

Fulvio Queirolo Pellerano

Magíster en Ciencia Política, Seguridad y Defensa de la Academia Nacional de Estudios Políticos y Estratégicos. Doctorando en Seguridad Internacional en la Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED, España.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6837-0962>

Guillermo Bravo Acevedo

Doctor en Historia de América por la Universidad Complutense de Madrid, España.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5284-6794>

Alejandro Salas Maturana

Magíster en Administración Militar de la Academia de Guerra Aérea, Chile, Magíster en Seguridad y Defensa mención Gestión Político Estratégica.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6881-2158>

Bernardita Alarcón Carvajal

Magíster en Ciencia Política, Seguridad y Defensa de la Academia Nacional de Estudios Políticos y Estratégicos. Historiadora y Cientista Política de la Universidad Gabriela Mistral, Chile.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7958-1842>

Consejero Externo

Luis Rothkegel Santiago

Doctor en Estudios Americanos con especialidad en "Historia", de la Universidad de Santiago, Chile. Magíster en Análisis Político Estratégico; Magíster en Historia con mención en "Historia de Chile".

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8836-3364>

LA PROYECCIÓN NACIONAL HACIA EL ASIA-PACÍFICO EN MATERIA DE HIDRÓGENO VERDE

Diciembre, 2021

Juan Cristobal Demian Inzulza*

Resumen:

El desafío de contener el cambio climático se ha convertido en uno de los principales temas de debate geopolítico contemporáneo y ha traído como consecuencia la búsqueda de energías libres de emisiones de CO2 a la atmósfera que reemplacen con urgencia a los combustibles fósiles idealmente con miras al año 2050. En dicho contexto, el hidrógeno verde es un tipo de combustible limpio que ha tenido tal auge de popularidad en los últimos años que varios países han empezado a erigir estrategias nacionales para su producción, incluyendo a Chile. Este artículo examina, primero, cómo la adhesión o rechazo de estrategias de descarbonización -incluyendo la producción de hidrógeno verde- corresponden a una toma de posición geopolítica que se atañe a los intereses nacionales de los actores y, luego, pone su énfasis tanto en el papel que ha decidido desempeñar Chile a dicho respecto como en el rol que le correspondería ejercer a nuestro país en el competitivo marco de las naciones que conforman la región geoestratégica del Asia-Pacífico.

Palabras clave: Descarbonización, Hidrógeno Verde, Asia-Pacífico

* Cientista político titulado de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Cursando actualmente Magíster en Seguridad, Defensa y Relaciones Internacionales en la ANEPE.

THE NATIONAL PROJECTION TOWARDS THE ASIA-PACIFIC IN TERMS OF GREEN HYDROGEN

Abstract:

The challenge of containing climate change has become one of the main topics of contemporary geopolitical debate and has resulted in the search for CO2 emission-free energies that may urgently replace fossil fuels, ideally towards 2050. In this context, green hydrogen is a type of clean fuel that has had such a popularity boom in recent years that several countries have begun to build national strategies for its production, including Chile. This article first examines how the adherence to or rejection of decarbonization strategies -including the production of green hydrogen- correspond to a taking of geopolitical position that concerns the national interests of the actors and then places its emphasis on the role that Chile has decided to play in this regard as well as in the role that our country should play within the competitive framework of nations that make up the Asia-Pacific geostrategic region.

Key words: Decarbonization, Green Hydrogen, Asia-Pacific.

1. La descarbonización como proyecto político transnacional

El debate geopolítico, tanto en lo que va, como en lo que se proyecta del siglo XXI se encuentra, sin lugar a duda, fuertemente tensionado por todo tipo de materias relacionadas a la ecología y la conservación de la biósfera, dentro de ellas se encuentra, por cierto, el fenómeno del cambio climático.

Dos serían los principales motivos por los cuales es necesario considerar estas materias en la proyección nacional de los países: en primer lugar, de ello depende la preservación de la integridad y supervivencia misma de cada nación, dado que la biósfera es pilar tanto para la existencia humana misma como para la provisión de los recursos necesarios para que esa existencia sea mejor y, en segundo lugar, porque desde una perspectiva política contemporánea –donde prevalece un paradigma de interdependencia y cuestionamiento a la concepción de los Estados como entidades políticas cerradas con soberanía plena– el cumplimiento de objetivos de naturaleza transnacional otorga un estatus a los Estados.

Una de las materias sobre las cuales existe un cierto acuerdo, al menos discursivo, en el ámbito transnacional es la necesidad de avanzar hacia un desarrollo sustentable; es decir, un modelo que, manteniendo la capacidad de cumplir las expectativas de progreso en las generaciones presentes, de manera equitativa, no comprometa

ni la naturaleza ni la capacidad de progreso de las generaciones futuras; así, es posible indicar que:

El desarrollo sustentable se ha constituido un “manifiesto político”, es decir, se ha elevado como una poderosa proclama que se dirige a ciudadanos, organizaciones civiles, empresas y gobiernos para impulsar acciones, principios éticos y nuevas instituciones orientadas a un objetivo común: la sustentabilidad¹.

“Una de las materias sobre las cuales existe un cierto acuerdo, al menos discursivo, en el ámbito transnacional es la necesidad de avanzar hacia un desarrollo sustentable;...”

En el fundamento politológico mismo de esta demanda, no solo política, sino también social, por la sustentabilidad, se encuentra un profundo debate que afecta la esencia misma del desarrollo económico de los países, debate que por cierto puede tensionar aún más las exigencias que a futuro puedan plantearse para lograr los objetivos en esta materia.

En el año 2000 el químico Paul Crutzen y el biólogo Eugene Stoermer acuñaron en un newsletter científico el concepto de “Antropoceno”, el cual refiere a una época en la cual el hombre se ha transformado en un factor geológico, debido a su capacidad de alterar la geología misma del planeta. Este proceso se entiende como consecuencia de la industrialización y el aumento exponencial tanto de las tecnologías de transporte como de explotación de distintos tipos de recursos en escalas masivas. Esta idea, a su vez, ha generado impresiones de las más diversas índoles, por lo general negativas, incluyendo las de quienes de forma radical consideran que el daño generado al medio ambiente es de tal magnitud que cualquier esfuerzo por mitigarlo es poco, a menos que se reduzca el desarrollo industrial y económico en

¹ Secretaría de Sustentabilidad de la Universidad Autónoma de Nuevo León. ¿Qué es el desarrollo sustentable? [en línea]. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León. s.f. [consulta: 30 de septiembre de 2021]. Disponible en: http://sds.uanl.mx/ desarrollo_sustentable/

sí, sugerencia que de por sí choca con la idea misma de la sustentabilidad y que amenaza con ser una de las grandes tensiones políticas transnacionales del siglo XXI.

Es importante visualizar que este debate que vincula lo filosófico y lo geofísico tiene como punto de entrecruce lo geopolítico, porque es en este plano que se toman las decisiones globales que pueden ofrecer una respuesta que beneficie a la conservación de la biósfera y al desarrollo humano sin que sean excluyentes. Los Estados, conocedores de su situación particular, aún tienen mucho que decir en estas materias, y buena parte de la optimización de su poder nacional en los años venideros pasará por la profesionalización que requerirá abordar este debate; la filósofa Déborah Danowski y el antropólogo Eduardo Viveiros de Castro indican:

...la contribución de las ciencias humanas [...] es indispensable para que se comprendan las consecuencias sociopolíticas, se articulen las respuestas posibles y se firmen los compromisos aceptables por parte de una "humanidad" que se presenta inmediatamente dividida en colectivos dotados de intereses y entendimientos variables y opuestos respecto a los valores vitales².

Es en este contexto que el concepto de "descarbonización" recibe una atención privilegiada entre los varios desafíos ecológicos que se registran en nuestro mundo cada vez más industrializado e interdependiente. Dicha descarbonización refiere al proceso por el cual se intentan reducir las emisiones de carbono a la atmósfera; en concreto, el dióxido de carbono (CO₂) es uno de los "gases de efecto

invernadero" (GEI) cuya función natural es retener el calor del sol en la Tierra, pero que concentrados en demasía retienen más calor del necesario, contribuyendo a un fenómeno llamado "calentamiento global". Otros GEI importantes son el metano, el ozono y el óxido nitroso. En términos concretos, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, organismo dependiente de la Organización de las Naciones Unidas, estimó que en 2018 un 89% del CO₂ emitido a la atmósfera provenía del uso de combustibles fósiles³.

La complejidad política de este asunto es posible de entender si consideramos que:

...solo el uso de los combustibles derivados del crudo permite comprender como el comercio mundial pudo multiplicarse por 50 en la segunda mitad del siglo pasado, dos veces más que la producción industrial [...]. La explosión de la movilidad motorizada que lo hizo factible se debió a que el consumo de petróleo se multiplicó por ocho en los últimos cincuenta años del siglo, y que además su consumo se fue dedicando crecientemente a garantizar dicha movilidad [...]. Esto permitió que el metabolismo urbano-agro-industrial operara a una escala cada vez más global, mundializando por consiguiente sus impactos⁴.

La posibilidad de que el calentamiento global aumente la temperatura promedio del planeta en 2°C y que de ello derive un desastre ambiental que comprometa incluso la existencia humana es uno de los vectores en el debate encarnizado que va desde la comunidad científica a la comunidad política internacional. Protagonizan este debate tres posiciones principales: la de quienes niegan el fenómeno, la de quienes promueven la sustentabilidad y, finalmente, la de quienes adhieren a posturas radicales que suelen profesar el anticapitalismo como doctrina.

² DANOWSKI, Déborah y VIVEIROS DE CASTRO, Eduardo. ¿Hay mundo por venir? Ensayo sobre los miedos y los fines. Buenos Aires, Editorial Caja Negra, 2019. p. 37.

³ ClientEarth Communications. Fossil fuels and climate change: the facts [en línea]. Londres: ClientEarth. 11 de noviembre de 2020. [consulta: 28 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.clientearth.org/latest/latest-updates/stories/fossil-fuels-and-climate-change-the-facts/>

⁴ FERNÁNDEZ, Ramón. El Antropoceno. La expansión del capitalismo global choca con la biosfera. Barcelona, Virus Editorial, 2011. p. 15

A la luz de lo anterior, los grandes problemas que enfrentan las naciones respecto de los desafíos medioambientales del siglo XXI en general y del cambio climático en particular podrían resumirse en tres:

a. El hecho de que nos enfrentemos a dilemas globales requiere que los Estados negocien y lleguen a acuerdos tanto entre sí como con organismos internacionales para autolimitarse y ceder en determinadas materias, aun contra sus intereses nacionales. Esta condición sigue horadando, en gran medida, la autodeterminación soberana de los Estados en pro de un contexto de interdependencia que genera resquemores. Como corolario de este punto, las grandes potencias contemporáneas, tales como Estados Unidos y China, en abierta competencia por la hegemonía económica y política internacional, ofrecen una resistencia más marcada a las negociaciones transnacionales para reducir emisiones de carbono. Además, desde una perspectiva realista de las Relaciones Internacionales, los Estados con mayor poder nacional, como los señalados, poseen más autoridad de negociar su excepcionalidad respecto de las normas que acatan los demás Estados

b. Relacionado con el punto anterior, pero desde la teoría crítica estructuralista de las Relaciones Internacionales, los Estados en vías de desarrollo ofrecen objeciones a las demandas de sustentabilidad en base a una supuesta desventaja histórica debido a su tardío y reciente proceso de industrialización. La autolimitación en este sentido es vista como un obstáculo para lograr el pleno desarrollo, lo que aumentaría la brecha

“En suma, considerando la aceptación de esta teoría, entendemos que el denominado “Arco de Scotia” constituiría entonces la verdadera zona de frontera del océano Pacífico.”

entre ellos y los países desarrollados, pudiendo estos últimos prescindir con más facilidad de ciertos modos de producción contaminantes.

c. Finalmente, posturas pesimistas respecto del desarrollo en sí, incluso del entendido como sustentable, ejercen presión y ganan adeptos dentro de los movimientos sociales antisistémicos, especialmente en los países occidentales y latinoamericanos. La inclusión de estas posturas en agendas políticas anticapitalistas puede erosionar fuertemente el modelo económico, político y social de países en los cuales la crisis de representatividad política llevaría fácilmente al triunfo electoral de los tomadores de decisión radicales que impulsan dichas agendas.

Al amparo de Naciones Unidas, en 1997, se aprobó el Protocolo de Kioto, el cual puso en vigencia la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) propuesta, a su vez, en 1992. Sin embargo, el Protocolo entró en vigor en 2005 tras un largo proceso de ratificación el cual se extendió precisamente por la resistencia de ciertos Estados a asumir agendas autolimitantes respecto de su desarrollo y crecimiento económico. De acuerdo con el Anexo B de este acuerdo 36 países más la Comunidad Europea debían reducir sus emisiones de manera que, en conjunto, se lograsen disminuir en un 5% en promedio los GEI producidos por el desarrollo humano. Sin embargo, nuevamente debido a la pugna entre interdependencia y soberanía, Canadá abandonó el protocolo y Estados Unidos no lo ratificó.

El protocolo de Kioto tenía una aplicabilidad prevista para el año 2012, pero en la 18°

Conferencia de las Partes (COP) –congresos que reúnen a los (hoy) 197 países y territorios partes del CMNUCC– se extendió el plazo hasta 2020, en lo que se conoce como la Enmienda de Doha, la cual ya contaba con las bajas de Estados Unidos y Canadá, pero que ahora afrontó la no ratificación de Rusia, Kazakistán y Japón, entre los países comprometidos con un descenso en sus emisiones.

Si bien solo 9 de las partes comprometidas incumplieron el protocolo de Kioto y se logró la exitosa cifra de que de lo previsto se redujeran las emisiones de carbono en un 22,6% considerando las cifras respectivas a los países involucrados, las emisiones mundiales de GEI aumentaron en cerca de un 50%, lo que incluía evidentemente a ambos Estados norteamericanos pero también a grandes ausentes del Anexo B de Kioto, tales como China, India o Brasil, por nombrar algunos ejemplos. Por ello, en la COP21 del año 2015, se estableció el documento heredero del Protocolo de Kioto: el Acuerdo de París, el cual posee dos principales diferencias respecto de su predecesor; en primer lugar, permite a las partes firmantes establecer “Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional”, es decir, definir de manera voluntaria su porcentaje de reducción de emisiones de carbono y, en segundo lugar, no se limita solo a las partes fijadas en el Anexo B del Protocolo de Kioto, sino que se extiende a todos los firmantes. De esta forma este acuerdo busca ser más flexible con los Estados para que delimiten su propia contribución y a la vez incorporar a naciones contaminantes que no estaban previamente consideradas, una

estrategia para que más Estados colaboren con el incentivo de tener menos presión.

Esta permisividad para que sean los propios Estados los que voluntariamente indiquen con cuanto descenso en el porcentaje de emisión de CEI se comprometen es también compensada por otro requerimiento:

La contribución determinada a nivel nacional sucesiva de cada Parte representará una progresión con respecto a la contribución determinada a nivel nacional que esté vigente para esa Parte y reflejará la mayor ambición posible de dicha Parte, teniendo en cuenta sus responsabilidades comunes pero diferenciadas y sus capacidades respectivas, a la luz de las diferentes circunstancias nacionales⁵.

En suma, y teniendo claro que no existe un árbitro coercitivo supranacional capaz de sancionar su incumplimiento, en el artículo 2 del Acuerdo de París puede leerse el que sin duda es el objetivo central al cual han acordado ceñirse la mayoría de los Estados del planeta, lo cual es el marco de acción objetivo al que los Estados habrían de atenerse de forma oficial, a saber:

Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático⁶.

Para la consecución de este objetivo, e intentando equilibrar las diferencias entre países desarrollados y en vías de desarrollo, el Acuerdo de París esgrime la siguiente estrategia:

Lograr que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero alcancen su punto máximo lo antes posible, teniendo presente que las Partes que son países en desarrollo tardarán más en lograrlo, y a partir de ese momento reducir rápidamente

“En suma, y teniendo claro que no existe un árbitro coercitivo supranacional capaz de sancionar su incumplimiento, en el artículo 2 del Acuerdo de París puede leerse el que sin duda es el objetivo central al cual han acordado ceñirse la mayoría de los Estados del planeta,...”

⁵Acuerdo de París, Art. 4.

⁶Ibíd. Art. 2.

las emisiones de gases de efecto invernadero, de conformidad con la mejor información científica disponible, para alcanzar un equilibrio entre las emisiones antropógenas por las fuentes y la absorción antropógena por los sumideros en la segunda mitad del siglo, sobre la base de la equidad y en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza⁷.

Teniendo como base el Acuerdo de París, varios países firmantes se han propuesto como objetivo para 2050 (o, en algunos casos, un rango que vaya entre 2050 y 2100) lograr la carbono neutralidad, es decir, nada más ni nada menos que emisiones netas de CO₂ equivalentes a cero. Para la mayoría de estos países llegar a esa meta se verá mediado por el logro de disminuciones sustantivas para el año 2030.

2. El hidrógeno verde como combustible para el siglo XXI

La estrecha relación entre desarrollo e industrialización y consumo de combustibles que emiten GEI a la atmósfera ha sido la principal piedra de tope para las ambiciosas metas de descarbonización que se han estipulado como óptimas. El hecho de que nos encontremos en lo que se ha llamado una era “postindustrial” no ha disminuido tal problema, ya que por un lado la conectividad intra e internacional por vía del transporte a nivel de masas sigue teniendo el consumo de derivados del petróleo como sustento fundamental y, por otro lado, aunque algunos países –especialmente los más desarrollados– estén optando por una economía de servicios, tal capacidad reposa en la terciarización hacia países en vías de desarrollo de la producción de los implementos que sostienen una economía de servicios, ambiente en el que se encuentra Chile y la mayor parte de Latinoamérica.

La imposición de medidas eventualmente draconianas de reducción de consumo de combustibles que emiten GEI a la atmósfera implicaría, por un lado, abstinencia a gran escala de servicios, bienes de consumo y transporte, y por otro, la pérdida de miles –quizás millones– de puestos de trabajo. Ningún gobierno, menos uno de régimen político liberal y/o democrático, está dispuesto a exponerse a la deslegitimación que tal escenario le traería. La pregunta es ¿Qué quedaría por hacer?

“Los Estados se encuentran hoy en la encrucijada de continuar dando espacio al desarrollo económico nacional, pero a la vez, de cumplir las demandas tanto de la ciudadanía como de la comunidad internacional de ofrecer soluciones al dilema del consumo de combustibles emisores de GEI a la atmósfera e impulsar una economía baja en carbono (LCE).”

Los Estados se encuentran hoy en la encrucijada de continuar dando espacio al desarrollo económico nacional, pero a la vez, de cumplir las demandas tanto de la ciudadanía como de la comunidad internacional de ofrecer soluciones al dilema del consumo de combustibles emisores de GEI a la atmósfera e impulsar una economía baja en carbono (LCE). Si aplicamos la lógica económica en su perspectiva profunda, (que comparte la raíz etimológica griega

“Oikos” con la ecología, es decir, la búsqueda de un equilibrio armónico), podemos ver que el camino de las restricciones estatales a los modos de consumo inciden en el problema por la vía del cercenamiento de la oferta, lo cual –tal como sucede en países de economía centralizada en la que dicho método se emplea en los más variados rubros de la economía– repercute en la gestación de mercado negro, entre otros males, los cuales anuncian que una solución tal solo agravaría el problema.

Por ende, el camino real y más acorde a lo que es más factible y políticamente admisible en

⁷ Ibid. Art. 4.

las sociedades modernas es la modificación de la demanda, un proceso que suena menos atractivo por su complejidad, ya que no depende completamente de los Estados en el corto plazo, pero que es la opción que permite compatibilizar desarrollo con efectivos cambios que permitan conservar la biósfera.

El filósofo Roger Scruton sostiene al respecto:

La solución es ajustar nuestras demandas, para asumir los costos de ellas nosotros mismos, y para encontrar la forma de poner presión a las empresas de hacer lo mismo. Y podemos corregirnos a nosotros mismos de esta forma solo si tenemos los motivos para hacerlo —motivos lo suficientemente fuertes— para contener nuestros apetitos⁸.

La clave está en el transcurso entre el presente momento y el año 2050, considerando que las proyecciones de trabajo a nivel nacional, que se han acordado a nivel internacional, sitúan la “mitad del siglo” como tiempo de referencia desde el cual debieran empezar a verse los cambios óptimos en materia de descarbonización y anhelo de carbono neutralidad. En tanto, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) proyectó en 2019 que hacia 2040 la demanda mundial de energía crecerá un 1,3% anual, lo cual representa un desafío en sí mismo, ya que implica a la larga un aumento de un 27,3%⁹.

Evidentemente, cursos de acción pueden ser tomados a nivel político para acelerar el proceso, y la forma de equilibrar oferta y demanda a dicho respecto es la existencia de ofertas innovadoras que permitan abrir espacio a la existencia de esa nueva exigencia que se busca forjar en

una sociedad. Los Estados y otros actores de consumo de combustibles a gran escala abrigan, a su vez, la necesidad de predicar con el ejemplo abriéndose a la posibilidad de facilitar la invención, desarrollo, difusión y consumo de energías más limpias que puedan reemplazar a dichos combustibles. Es ahí donde se posiciona el hidrógeno verde como una de las alternativas energéticas que mayor esperanza ha generado para llevar a cabo un proceso de descarbonización más efectivo.

“Es ahí donde se posiciona el hidrógeno verde como una de las alternativas energéticas que mayor esperanza ha generado para llevar a cabo un proceso de descarbonización más efectivo.”

El hidrógeno es el elemento más abundante en el universo y su uso como combustible ni siquiera es algo nuevo en sí mismo y ha sido usado como combustible por lo menos desde el s XIX. Durante el s XX, a su vez, su demanda se multiplicó, para ser más precisos, la AIE indica que desde 1975 (coincidiendo con

la gran crisis mundial del petróleo) el uso de hidrógeno ha aumentado tres veces y en 2018 alcanzó los 70 millones de toneladas anuales¹⁰. Entre los usos que se le han dado, además del transporte, ha destacado su rol como insumo en la producción de metanol y amoníaco, así como en la refinación de petróleo y la manufacturación de acero. Sin embargo, comparado con los combustibles fósiles su uso es muy minoritario y su proceso de producción no es siquiera limpia en sí misma; de aquí la diferencia entre el hidrógeno en tanto tal y el hidrógeno verde, el cual tiene hasta el momento un uso aún más minoritario.

Aproximadamente el 99% del hidrógeno es producido usando gas natural y carbón¹¹, los cuales por definición emiten GEI a la atmósfera;

⁸ SCRUTON, Roger. Green philosophy: How to think seriously about the planet. Londres, Atlantic Books, 2013. p. 17.

⁹ ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2019. París, IEA Publications, 2019. p. 23.

¹⁰ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of hydrogen: Seizing today's opportunities. París, IEA Publications, 2019. p. 17.

¹¹ WOOD MACKENZIE. The future for green hydrogen [en línea]. 25 de octubre de 2019. [consulta: 12 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.woodmac.com/news/editorial/the-future-for-green-hydrogen/>

de hecho, el aporte de estas emisiones en cantidad de CO2 generado es equivalente a la polución completa originada en el Reino Unido e Indonesia conjuntamente¹². En tal sentido, podemos hablar de una “paleta de colores” del hidrógeno, es decir, distintos tipos de hidrógeno de acuerdo a la forma en la que éste es producido:

- a. Hidrógeno marrón es el hidrógeno que se produce utilizando carbón,
- b. Hidrógeno blanco, que es hidrógeno generado como subproducto de procesos industriales,
- c. Hidrógeno gris, a su vez, es el hidrógeno producido utilizando gas natural,
- d. Hidrógeno azul, por su parte, también es producido usando gas natural, pero la contaminación generada en el proceso es disminuida utilizando un proceso llamado “captura y almacenamiento de carbono” (CCS), el cual guarda el CO2 resultante bajo tierra,
- e. Hidrógeno turquesa se produce descomponiendo metano en hidrógeno y carbono mediante un proceso llamado pirolisis, el carbono resultante se entierra o se reutiliza en otras industrias,
- f. Hidrógeno amarillo, que es producido desagregando agua en sus componentes, hidrógeno y oxígeno, mediante un proceso llamado electrólisis, el cual se lleva a cabo en dispositivos llamados electrolizadores, los que ocupan electricidad para el proceso. La electricidad ocupada es generada emitiendo CO2,

g. Hidrógeno púrpura, por su parte, se genera mediante electrólisis producida con energía nuclear, y

h. Hidrógeno verde, finalmente, se produce también mediante electrólisis, pero llevada a cabo utilizando energías no contaminantes, tales como solar o eólica. Podemos hablar, entonces, de un hidrógeno libre de emisiones de CO2, con la única excepción del generado en el establecimiento de la infraestructura necesaria.

“La producción de hidrógeno en sí requiere del consumo de grandes cantidades de energía y de una robusta infraestructura para lograrlo, lo cual se complejiza si esa energía e infraestructura se relacionan con el empleo de otras fuentes limpias tales como insumo solar o eólico para la obtención de hidrógeno verde.”

Una efectiva masificación en el uso de hidrógeno verde, a una escala que sea la suficiente para generar cambios a nivel mundial, es algo que hasta ahora se ve bastante lejano debido a problemas asociados esencialmente a su alto costo de producción, el cual se deriva de varios inconvenientes que lo hacen poco competitivo, al menos en la actualidad, respecto de los combustibles más contaminantes.

La producción de hidrógeno en sí requiere del consumo de grandes cantidades de energía y de una robusta infraestructura para lograrlo, lo cual se complejiza si esa energía e infraestructura se relacionan con el empleo de otras fuentes limpias tales como insumo solar o eólico para la obtención de hidrógeno verde.

Pero no solo la producción es cara, sino que también lo es su almacenamiento y distribución. Por sus características, el hidrógeno ocupa considerable espacio (4 veces más que el gas natural) y tiende a estropear las tuberías, incluso generando fugas debido al pequeño tamaño de su configuración atómica. Soluciones tales como

¹² INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of hydrogen: Seizing today's opportunities. p. 17.

el desarrollo de instalaciones especializadas, o bien, la presurización o licuación del hidrógeno incrementa los costos, los cuales, nuevamente, se elevan si se utilizan energías limpias en procesos adicionales. El hidrógeno es, también, altamente inflamable (20 veces más que el petróleo), lo cual requiere inversiones en seguridad y especialistas acordes a dicho desafío.

En vista de lo oneroso que es—hasta el momento—producir hidrógeno verde, los principales actores que han estudiado con detenimiento los avances necesarios para apostar por esta fuente de energía han sido las grandes empresas internacionales del rubro, incluyendo muchas especializadas en combustibles fósiles, curiosa paradoja que podría ser un arma de doble filo, ya que dependerá de los incentivos y prospectivas futuras si es que estas empresas deciden seguir financiando la investigación tecnológica necesaria para la transformación energética. En el óptimo de los casos, si estas mismas compañías logran hacer rentable la producción de hidrógeno verde, se podría asegurar un cambio “desde dentro” que pondría gradualmente fin al uso de combustibles fósiles por parte de las mismas entidades que hoy operan en base a dichas energías contaminantes. Un hito importante y meritorio, sin duda, es la creación del Consejo del Hidrógeno, organización que reúne a 109 corporaciones internacionales en un afán de cooperación en materia de desarrollo de hidrógeno.

Según datos de la estrategia de hidrógeno de julio de 2020 de la Comisión Europea, el hidrógeno verde cuesta entre \$3USD y \$6.55USD por kilo, mientras que el hidrógeno generado con

combustibles fósiles cuesta cerca de \$1.8USD por kilo y el hidrógeno azul aprox. \$2.4USD por kilo¹³. Los más optimistas apuestan a que el costo del hidrógeno verde disminuya a la mitad dentro de la próxima década y logre ser competitivo para el año 2030. Se estima, a su vez, que los electrolizadores deberían alcanzar costos más eficientes para el año 2040, de unos \$840USD por kilovatio de capacidad hoy a la mitad de dicha cifra¹⁴.

Si la producción de hidrógeno a nivel mundial fuese completamente verde se eliminarían 830 millones de toneladas de CO2 emitidos a la atmósfera¹⁵. Tal cifra es conservadora si proyectamos el potencial que tendría el reemplazo de los combustibles fósiles por este tipo de energía, considerando que el hidrógeno en sí es un combustible absolutamente minoritario dentro de los que están hoy en uso.

Ahora bien, solo centrándonos en la producción de hidrógeno nuevamente, el costo de convertirlo efectivamente en verde es de tal magnitud que equivaldría destinar 3.600 teravatios al año para ello, es decir, la demanda actual total de la Unión Europea en energías limpias¹⁶. Si proyectamos ello a un reemplazo de combustibles fósiles por hidrógeno verde nos encontramos con un aumento exponencial de costos que hace en extremo difícil siquiera imaginar tal escenario, al menos por ahora. La principal apuesta de los expertos más optimistas a dicho respecto es el descenso del costo de la tecnología para energías limpias para años venideros del presente siglo.

A un nivel macro, en términos de posicionamiento como combustible de consumo masivo, el

¹³ DICRISTOPHER, Tom. Experts explain why green hydrogen costs have fallen and will keep falling [en línea]. S&P Global Intelligence. 5 de marzo de 2021. [consulta: 28 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/experts-explain-why-green-hydrogen-costs-have-fallen-and-will-keep-falling-63037203>

¹⁴ INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Hydrogen: A renewable energy perspective. Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting in Tokyo, Japan. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency, 2019. p. 5.

¹⁵ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of hydrogen: Seizing today's opportunities. p. 17.

¹⁶ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Op. Cit. p. 37.

principal competidor del hidrógeno verde es la electricidad, por lo cual algunos expertos consideran que lo más sensato es postular el hidrógeno verde como una alternativa para rubros que no puedan electrificarse; por ejemplo, como reemplazo próximo del gas natural en el uso cotidiano de los hogares, lo cual ya ha empezado a implementarse en Reino Unido¹⁷, o bien como precursor de otro tipo de portadores de energía como el amoníaco o hidrocarburos sintéticos; se lo ha utilizado, también, en el desarrollo de pilas y celdas de combustible para motores eléctricos. En suma, el hidrógeno puede ser empleado principalmente mediante su combustión directa o impulsando la producción de otras energías como la electricidad.

Por ahora es preciso concluir que el hidrógeno verde constituye una posibilidad efectiva de contribuir a la descarbonización debido a sus características que excluyen la emisión de CO₂ a la atmósfera. Sin embargo, está condicionado por dos cosas para que tenga una incidencia efectiva en la política transnacional de combate al calentamiento atmosférico; en primer lugar, debe buscarse, mediante una sólida alianza entre el sector público y privado, a modificar la demanda de la ciudadanía para que esta tecnología alcance mayor rentabilidad y sus costos de infraestructura y logística disminuyan con el tiempo, y en segundo lugar, la mencionada alianza entre la planificación nacional estatal y el sector privado que tiene hoy la iniciativa y la capacidad de desarrollar hidrógeno verde debe tener bases sólidas que permitan orientar propósitos tales como una efectiva descarbonización, desarrollo humano,

equilibrio entre cooperación y autonomía en materia internacional y armonía política interna; este último factor se explica por la necesidad de contener la presión de los movimientos ambientalistas subnacionales y la tendencia de gobiernos irresponsables de forzar las condiciones de transformación energética por vía de la modificación artificial de la oferta y/o medidas que desincentivan la inversión privada.

“Por ahora es preciso concluir que el hidrógeno verde constituye una posibilidad efectiva de contribuir a la descarbonización debido a sus características que excluyen la emisión de CO₂ a la atmósfera.”

3. El Asia-Pacífico como región estratégica en producción de hidrógeno verde

El eje del mundo contemporáneo gira en torno a la cuenca del océano Pacífico, dejando atrás el protagonismo que otrora tuviese el océano Atlántico, testigo del que

fuera el período de gloria de los desaparecidos imperios europeos. En cambio, hacia el Pacífico miran las principales potencias que disputan la hegemonía política internacional el día de hoy – Estados Unidos y China– y también otros países que, sin estar directamente en tal competencia son actores de la más absoluta relevancia por su destacable crecimiento económico, el que sirve de base para su proyección nacional en la región.

Según datos del Banco Mundial¹⁸, solo el Producto Interno Bruto (PIB) de los países que forman parte del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) llega a ser el 60,41% del PIB mundial; si le integramos a esa cifra los países de la cuenca que no son parte de APEC¹⁹, un par de países no ribereños interesados en unirse (Mongolia y Laos) y algunos Estados de la cuenca del océano Índico con el fin de incorporar al análisis la zona

¹⁷ AMBROSE, Jillian. First UK homes with hydrogen boilers and hobs to be built by April. The Guardian, Londres, 16 febrero, 2021. [consulta: 28 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.theguardian.com/business/2021/feb/16/first-uk-homes-with-hydrogen-boilers-and-hobs-to-be-built-by-april>

¹⁸ BANCO MUNDIAL. PIB (US\$ a precios actuales) [en línea]. s.f. [consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD?end=2020&start=1960&view=chart>

¹⁹ Exceptuando a Corea del Norte, por ausencia de datos, y exceptuando también a Islas Marshall, Micronesia, Nauru, Palau y Tonga, por datos desactualizados, con el fin de no entorpecer el cálculo, referido a 2020.

geoestratégica denominada Indo-Pacífico²⁰, llegamos a una cifra coincidente con el 65,22% del PIB mundial.

La alta productividad económica de la cuenca tricontinental del Pacífico va de la mano, de manera más que evidente, con una alta demanda de energía para sostener una prospectiva de desarrollo coherente con tal nivel de actividad, lo cual es extensible también al desafío que es proporcionar una calidad de vida acorde a dicho desarrollo a las miles de millones de personas que habitan en los países de la región.

El Foro APEC se erige en la zona como una instancia de gran valor debido a la presencia en su seno de los principales actores geopolíticos de la región, a pesar de que dicha concurrencia no sea, precisamente, de cooperación o acuerdos políticos, sino meramente de estrechamiento en las relaciones comerciales. Desde una perspectiva realista de las Relaciones Internacionales, instancias como APEC, más que condicionar los intereses nacionales de sus miembros en pro de la cooperación, son herramientas para potenciar la proyección estratégica nacional en torno a la optimización de las capacidades económicas y el intercambio. Los fundamentos del foro APEC se resumen en las llamadas Metas de Bogor, establecidas en 1994, las cuales se resumen en: 1) liberalización del comercio y las inversiones, 2) facilitación de los negocios y las actividades sectoriales y

3) la cooperación técnica y económica. Estos fundamentos, de matriz liberal, se plasman a través de los principios del voluntarismo (flexibilidad de que cada miembro tome las decisiones que le parezcan pertinentes de acuerdo a su voluntad política) y el regionalismo abierto (estos principios de liberalización económica pueden ser replicados en la relación económica de las economías miembros con países que no pertenezcan a APEC, dado el objetivo de liberalización global que subyace a los principios liberales)²¹.

En concreto, la existencia del principio del voluntarismo en un foro no vinculante, pero a la vez tan relevante para el posicionamiento internacional de los países que participan de él, es muestra de la capacidad que hasta el día de hoy buscan tener algunos

Estados, especialmente los más poderosos, para subyugar los principios de liberalización económica a una estrategia de corte nacional.

Esta siempre compleja relación entre la utopía de la desregulación global y la salvaguardia de los intereses nacionales que caracteriza al mundo contemporáneo está presente en APEC aunque de una forma menos problemática que en aquellas que requieren compromisos políticos, puesto que APEC se limita al fomento de la cooperación económica basándose en la libertad de acción absoluta de sus miembros, lo cual no resta la existencia de una agenda que expresa los óptimos a los cuales debe aspirar el

“El Foro APEC se erige en la zona como una instancia de gran valor debido a la presencia en su seno de los principales actores geopolíticos de la región, a pesar de que dicha concurrencia no sea, precisamente, de cooperación o acuerdos políticos, sino meramente de estrechamiento en las relaciones comerciales.”

²⁰ Estableciendo el límite de la zona que nos interesa en Pakistán, incluyéndolo.

²¹ ADUANAS DE CHILE. Foro de Cooperación Económica de Asia-Pacífico [en línea]. s.f. [consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.aduana.cl/foro-de-cooperacion-economica-de-asia-pacifico-apec/aduana/2007-02-28/103547.html>

conjunto de las economías miembros; y dentro de estos óptimos se encuentra, hoy más que nunca, el desarrollo sustentable. Así, APEC destaca nada menos como objetivo principal “apoyar el crecimiento económico sustentable y la prosperidad en la región de Asia-Pacífico”²².

Sin más, la visión de APEC respecto a esta materia se remonta a 1993, año en que el foro estableció la siguiente máxima: “Nuestro medio ambiente es mejorado en tanto protegemos la calidad de nuestro aire, agua y espacios verdes y manejamos nuestros recursos energéticos y recursos renovables para asegurar crecimiento sustentable y proveer un futuro más seguro para nuestra gente”²³.

Ateniéndonos a la actualidad, siendo Nueva Zelanda en 2021 el país anfitrión del foro APEC, encontramos que el “aumento de la inclusión y la sustentabilidad para la recuperación (económica tras la pandemia de COVID-19)” es uno de los tres pilares fundamentales de trabajo de la instancia. Asimismo, siendo Malasia el país anfitrión en 2020, uno de los pilares de trabajo fue el “impulso de la sustentabilidad innovadora”, mientras que, siendo Chile el país anfitrión del año 2019, uno de los pilares fue lisa y llanamente el “crecimiento sustentable”.

En 2018 las economías miembros de APEC llegaron a emitir a la atmósfera 21.236.881 kilotonnes²⁴ de CO2 a la atmósfera²⁵ (un 62,39% del total mundial) y ante ese escenario once de sus economías asumieron el desafío de llegar a la meta de cero emisiones de CO2 a la atmósfera para la segunda mitad del siglo, estas economías son: Canadá, China, Chile, Hong Kong, Japón, Corea del Sur, Nueva Zelanda, Papúa Nueva Guinea, Singapur, Taiwán y Estados Unidos.

“Si la posición estratégica internacional de las naciones hoy se juega en materias relevantes de proyección nacional tales como dar un salto adelante en producción de energías limpias, este escenario se vuelve aún más competitivo en torno al océano Pacífico, dado el escenario geopolítico y económico contemporáneo.”

Teniendo presente que buscamos explorar las posibilidades estratégicas de Chile tanto en capacidad de incorporarse al objetivo de una producción relevante de hidrógeno verde para reducir sus emisiones de CO2 como en posibilidad de comercializarlo, es preciso evaluar cómo está siendo abordada esta energía renovable de forma estratégica por algunos Estados de la región, es decir, la estrategia nacional a dicho respecto que

llevan a cabo los países que son, tanto socios comerciales, como eventuales competidores de Chile. Si la posición estratégica internacional de las naciones hoy se juega en materias relevantes de proyección nacional tales como dar un salto adelante en producción de energías limpias, este escenario se vuelve aún más competitivo en torno al océano Pacífico, dado el escenario geopolítico y económico contemporáneo.

²² ASIA-PACIFIC ECONOMIC COOPERATION. Mission statement [en línea]. Septiembre de 2021 [consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.apec.org/about-us/about-apec/mission-statement>

²³ ASIA-PACIFIC ECONOMIC COOPERATION. Sustainable Development [en línea]. s.f. [consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.apec.org/groups/other-groups/sustainable-development>

²⁴ 1 kilotón = 1.000 toneladas.

²⁵ APEC Energy Working Group. CO2 emission table [en línea]. s.f. [Consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://www.egeda.ewg.apec.org/egeda/database_info/co2_select_form.html

Australia

Del total de sus fuentes de energía primarias²⁶, solo un 7,1% correspondió a fuentes de energía renovables en 2018, las cuales serían el insumo necesario para producir hidrógeno verde. El Estado australiano tiene previsto para el año 2030 reducir entre un 26% y un 28% de sus emisiones de GEI tomando como referencia el año 2005²⁷.

Australia ha diseñado una Estrategia Nacional del Hidrógeno, cuyo objetivo es hacer de la industria australiana del hidrógeno un actor relevante a nivel global para el año 2030. En esta estrategia se declara:

Un elemento clave del enfoque de Australia será crear hubs – clústeres²⁸ de hidrógeno de demanda de gran escala. Estos pueden estar en puertos, en ciudades, o en áreas regionales o remotas, [...]. Los hubs harán el desarrollo de infraestructura más económico, promoverán la eficiencia de las economías de escala, fomentarán la innovación, y promoverán sinergias del acoplamiento sectorial. Éstos serán complementados y mejorados por otros pasos tempranos en el uso de hidrógeno en transporte, industria y redes de distribución de gas, e integrarán tecnologías de hidrógeno en nuestros sistemas de electricidad de una forma que mejore la confiabilidad²⁹.

Además, se estipula:

Construir y demostrar la amplia capacidad de producir, mover, y usar hidrógeno limpio es solo parte de la historia. Estableceremos marcos regulatorios claros y nos aseguraremos de que el desarrollo tenga una influencia positiva en los precios de la energía y la seguridad energética. A través de nuestro compromiso internacional, trabajaremos junto a otros países para desarrollar un esquema para rastrear y certificar los orígenes

del hidrógeno limpio comercializado. Trabajaremos constructivamente para formar mercados internacionales y abrir nuevas fronteras para el comercio³⁰.

La nación oceánica manifiesta confianza en su reputación como exportador de energía dentro del Asia-Pacífico, pero también, y de manera especial, en su geografía como factor de ventaja comparativa para proyectarse en esta materia. Indica: “Basada en la calidad de los recursos de viento, solares e hídricos por sí solos, Geoscience Australia estima que cerca del 11% de Australia (872.000 km cuadrados) podrían ser altamente adecuados para la producción de hidrógeno renovable”³¹.

China

La nación china está triplemente representada en APEC, tanto por medio de la República Popular China, la República de China (Taiwán) y Hong Kong. Si en total las tres entidades en 2018 emitieron 9.916.507 kilotonnes de CO₂ a la atmósfera, solo la República Popular China emitió 9.610.940 kilotonnes de CO₂ de la anterior cifra de acuerdo a la APEC Energy Working Group³². Esto implica que, del total de emisiones de APEC, la República Popular China emitió alrededor del 45,26% de dicha cifra, y del total mundial alrededor del 28,23%.

Hay que considerar que la República Popular China es tanto el principal productor como consumidor de energía en el mundo, y en tal escenario sus importaciones también han subido

²⁶ Se entiende por “fuentes primarias de energía” a la totalidad de stock energético que un país tiene a su disposición excluyendo exportaciones e incluyendo importaciones. Existen países que son capaces de producir tanta energía que exportan en grandes cantidades y sus importaciones son prácticamente inexistentes, otros tienen una escasa producción nacional e importan la mayoría de su energía, finalmente algunos son capaces de producir lo suficiente para exportar, pero aun así necesitan importar cantidades importantes dependiendo del uso destinado y la zona geográfica involucrada.

²⁷ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. APEC Energy Overview 2021. Tokio, Asia Pacific Energy Research Centre, 2021. p.2.

²⁸ Espacios en los que cohabitan varias empresas en torno a un mismo rubro.

²⁹ COAG ENERGY COUNCIL HYDROGEN WORKING GROUP. Australia’s National Hydrogen Strategy. COAG Energy Council, 2019. VIIIp.

³⁰ *Ibíd.* VIIIp.

³¹ *Ibíd.* p. 10.

³² APEC Energy Working Group. Op. Cit.

a pesar de ser capaz de producir y exportar. En ese contexto es preciso destacar que solo el 6,7% de sus fuentes de energía primarias correspondieron en 2018 a energías renovables mientras que el carbón ocupó el 62% de ese índice; a su vez, el petróleo representó el 20,3% y el gas natural el 8%³³. El Estado chino se ha comprometido a llegar su cima de emisiones de CO2 antes de 2030 y llegar a la neutralidad de carbono antes de 2060³⁴, este compromiso es considerado vago debido a la escasez de detalles que proporciona el Partido Comunista Chino y al leve interés demostrado respecto de las instancias de acuerdo internacional sobre cambio climático.

En 2021 el régimen chino aprobó que se instalara un megaproyecto de producción de hidrógeno verde en la región de Mongolia Interior; en la coordinación de esta iniciativa que requiere la colaboración de varias empresas estatales se encuentra la China Hydrogen Alliance, entidad del Estado chino encargada de velar por el avance de la transición energética hacia hidrógeno en la superpotencia asiática. Las ventajas geográficas de Mongolia Interior son claves en este aspecto; se constata que “La región recibe unas 3.100 horas de luz solar al año para la generación de energía solar, y está situada en el principal canal de viento siberiano que podría alimentar decenas de gigavatios de turbinas eólicas”³⁵.

Por su parte, Hong Kong ha puesto su acento en fomentar la instalación de infraestructura

para autos eléctricos³⁶, lo cual es siempre un posible mercado que podría requerir consumo de hidrógeno, mientras que Taiwán, a su vez, se ha comprometido en reducir sus emanaciones de GEI para 2030 de forma que sean menos de la mitad de lo que fueron en 2005³⁷; sin embargo, su acercamiento al hidrógeno verde aún es meramente exploratorio. En el caso taiwanés es relevante considerar que sus fuentes primarias de energía son en más de un 90% provenientes de la importación³⁸.

Corea del Sur

Siguiendo una tendencia histórica, la mayor parte de las fuentes de energía primaria de Corea del Sur provienen de la importación (un 89% en 2018), lo que hace a este país un objetivo neto de los países exportadores de energía. Tan solo un 1,9% de dichas fuentes de energía corresponden a energías renovables en el caso de este país asiático³⁹; sin embargo, se fija como objetivo reducir en un 37% las emisiones de GEI para 2030 tomando como base estimaciones previas para dicho año⁴⁰.

En materia de hidrógeno verde, la República de Corea considera esta energía dentro de las opciones renovables a las cuales brindar una expansión en su desarrollo, producción, uso y distribución⁴¹ tanto en su Ley Marco sobre Bajo Carbono, Crecimiento Verde del año 2010 como en el anuncio en 2019 de una hoja de ruta para crear un ecosistema para la industria del hidrógeno⁴².

³³ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. Op. Cit. p. 47.

³⁴ Observatorio Parlamentario. COP26: “La ausencia de Xi Jinping y el aporte de China en la lucha contra el cambio climático” [en línea]. Valparaíso: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 4 de noviembre de 2021 [consulta: 7 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/cop26-glasgow-2021-ausencia-xi-jinping>

³⁵ BLOOMBERG, 2021. China aprueba un megaproyecto de hidrógeno verde [en línea]. Miami: World Energy Trade. 20 de agosto de 2021 [consulta: 7 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/gas/china-aprueba-un-megaproyecto-de-hidrogeno-verde>

³⁶ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. Op. Cit. p. 65.

³⁷ *Ibíd.* p. 200.

³⁸ *Ibíd.* p. 194.

³⁹ *Ibíd.* p. 100.

⁴⁰ Decreto Presidencial no. 29.617 de aplicación de la Ley Marco sobre Bajo Carbono, Crecimiento Verde. Art. 25.

⁴¹ Ley Marco no. 9.931 sobre Bajo Carbono, Crecimiento Verde. Art. 42.

⁴² ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. Op. Cit. p. 105.

Japón

En 2018 un 91% de las fuentes de energía primaria japonesas venían de la importación, lo que hace a este país asiático otro objetivo codiciado para los exportadores de energía del Asia Pacífico. Hasta ese año un 89% de esa energía provenía de los principales combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas natural⁴³. Japón espera reducir para el año 2030 su emisión de GEI en un 46% tomando como referencia el año 2013⁴⁴.

En 2017 Japón fue el primer país en presentar una estrategia nacional de hidrógeno, tras la cual se ha duplicado el gasto nacional en investigación y desarrollo, llegando a la cifra de \$300 millones de USD entre 2017 y 2019 sin contar el gasto privado⁴⁵.

Esta nación insular cuenta con el Campo de Investigación de la Energía del Hidrógeno de Fukushima, uno de los más grandes del mundo para la investigación de hidrógeno verde; y como consecuencia del avance tecnológico en el que se ha invertido, en junio de 2021 se anunció que la compañía Eneos está en proceso de construir instalaciones de producción de hidrógeno verde al costo de solo un tercio del valor convencional⁴⁶. Por el momento, sin embargo, aún es más sólido el desarrollo de hidrógeno proveniente de energías fósiles.

El avance tecnológico de Japón contrasta, a pesar de todo, con su incapacidad geográfica

de generar las condiciones óptimas para una producción energética masiva, por lo cual seguirá siendo un país de naturaleza importadora, esperándose que hacia el año 2050 deba importar cerca de 10 millones de toneladas de hidrógeno al año⁴⁷. Una ruta alternativa, también, es la que se plantea sobre la posibilidad de instalar tecnología japonesa en países geográficamente aptos para la producción de hidrógeno verde, generándose así una sinergia colaborativa entre los intereses de los países involucrados, tal idea es precisamente la que han empezado los japoneses a explorar con Chile gracias a la gestión del Comité Empresarial Chile-Japón⁴⁸.

Rusia

La Federación Rusa es un país exportador de energía por naturaleza, debido especialmente a sus aventajadas condiciones geográficas, teniendo el territorio nacional más extenso del mundo. Sus fuentes primarias de energía son, al igual que en los demás países, principalmente de combustibles fósiles, pero destaca en el caso ruso la primacía del gas natural que compuso el 54% de dichas fuentes en el año 2018. Más aún, su producción de energías renovables es extremadamente marginal y se acusa un déficit de apoyo estratégico del Estado⁴⁸.

A pesar de ello, Rusia se propone para el año 2030 disminuir en un 70% sus emisiones de GEI tomando como referencia el año 1990 y estar en condiciones de producir y exportar 2 millones de toneladas de hidrógeno al año hacia 2035⁵⁰.

⁴³ Ibíd. p. 84.

⁴⁴ Ibíd. p. 90.

⁴⁵ EL MERCURIO. Cómo la gran apuesta de Japón por el hidrógeno podría revolucionar el mercado de energía [en línea]. Nex News. 21 de junio de 2021 [consulta: 6 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://portal.nexnews.cl/showN?valor=go027&mc_cid=47cd3f4484&mc_eid=89e31b35a1

⁴⁶ Yuko Sugigaki. Japanese tech to slash green hydrogen costs by two thirds [en línea]. Tokio: Nikkei Asia. 20 de junio de 2021 [consulta: 6 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Environment/Japanese-tech-to-slash-green-hydrogen-costs-by-two-thirds>

⁴⁷ COAG ENERGY COUNCIL HYDROGEN WORKING GROUP. Op. Cit. p. 76.

⁴⁸ Electricidad. Hidrógeno verde: Chile y Japón analizarán el potencial conjunto en torno a este recurso [en línea]. Santiago: Electricidad. 31 de mayo de 2021 [consulta: 6 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.revistaei.cl/2021/05/31/hidrogeno-verde-chile-y-japon-analizaran-el-potencial-conjunto-en-torno-a-este-recurso/>

⁴⁹ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. pp. 173-174.

⁵⁰ Ibíd. p. 178.

Canadá

Canadá también cumple un rol de exportador de energía, con una situación geográfica y geostratégica similar a la de Rusia; sin embargo, en el caso canadiense la tendencia de las últimas décadas le ha dado una ventaja a las energías limpias por sobre el carbón. En 2018 un 9,4% de sus fuentes primarias de energía correspondían a energías limpias, mientras el carbón ocupó un 5,9% de la producción. Todo ello sin perjuicio de que aún el petróleo y el gas natural en conjunto fueran el 79% de dichas fuentes primarias en ese año y hayan mantenido una proporción similar a lo largo del tiempo⁵¹.

Canadá ha establecido como objetivo para el año 2030 disminuir sus emisiones de GEI en un 30%, así como lograr que el 30% de los vehículos ligeros vendidos en el año 2030 sean de consumo eléctrico y, más aún, que ese porcentaje se eleve nada menos que a un 100% para 2040⁵².

Al igual que Australia, Canadá cuenta con una Estrategia Nacional en materia de producción de hidrógeno. En dicha estrategia se indica:

Si adoptamos el hidrógeno como un elemento estratégico y necesario para la transición de Canadá hacia un futuro de energía limpia más inclusivo y equitativo puede jugar un rol esencial en ayudarnos a alcanzar el cero neto [de emisiones de CO2 a la atmósfera] para 2050 a la vez manteniendo la asequibilidad, confiabilidad y sustentabilidad del suministro de energía de Canadá. Alinearse en torno a una visión común es crítico para ponernos ahora en el camino correcto⁵³.

En concreto, la planificación nacional del país norteamericano gira en torno a tres momentos: 1) entre 2021 y 2025 el establecimiento estratégico de hubs (clústeres) de producción de hidrógeno, lo cual ha de ser apoyado con transformaciones regulatorias, 2) entre 2025 y 2030 crecimiento de la industria del hidrógeno y diversificación en los usos del producto y 3) entre 2030 y 2050 expansión del hidrógeno en términos de mercado. Se proyecta que en este escenario hacia 2050 el hidrógeno sea el 30% del suministro de la energía empleada en Canadá, sin perjuicio de la capacidad de exportar de forma competitiva⁵⁴.

Estados Unidos

El 82% de las fuentes primarias de energía de Estados Unidos corresponden a combustibles fósiles, el resto se divide en energías renovables y de otros tipos, tales como la solar, eólica, hidráulica, de biomasa o nuclear⁵⁵. Aquello que entendemos como energías limpias se encuentra muy marginalmente disponible en esta superpotencia mundial que emitió en 2018 –como año de referencia– una cantidad de 4.981.300 kilotonnes de CO2 a la atmósfera⁵⁶ (el 14,63% del que fue emitido por el mundo en su totalidad y un 23,46% del emitido por los países que conforman APEC), de acuerdo a los cálculos del Banco Mundial. Para el año 2030, Estados Unidos espera emitir entre un 50% y un 52% menos de GEI a la atmósfera tomando de referencia el año 2005⁵⁷.

⁵¹ *Ibíd.* p. 22.

⁵² GOBIERNO DE CANADÁ. *Achieving a sustainable future: a federal sustainable development strategy for Canada, 2019 to 2022.* Gatineau, Environment and Climate Change Canada, 2019. pp. 2-3.

⁵³ NATURAL RESOURCES CANADA. *Hydrogen strategy for Canada: seizing the opportunities for hydrogen, a call to action.* Gatineau, Natural Resources Canada, 2020. p. 99.

⁵⁴ *Ibíd.* XVII-XVIIIpp.

⁵⁵ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. *Op. Cit.* p. 214.

⁵⁶ BANCO MUNDIAL. *Emisiones de CO2 (kt) [en línea].* s.f. [consulta: 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT>. A su vez, la APEC Energy Working Group calcula para el mismo año que Estados Unidos emitió 5.177.502 kilotonnes, es decir, 196.202 kilotonnes más que lo calculado por el Banco Mundial.

⁵⁷ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. *Op. Cit.* p. 219.

El Departamento de Energía, a través de la Oficina de Energía Fósil, publicó en 2020 una Estrategia de Hidrógeno. Este documento corresponde a la exposición de un portafolio de actividades de investigación y desarrollo para llevar a cabo un proceso transitorio hacia una economía de bajo carbono en la que el hidrógeno tenga un rol relevante. Esta estrategia se basa, sin embargo, en el desarrollo de esta energía en base a combustibles fósiles, por los cuales se apuesta que, gracias al desarrollo tecnológico, logren emitir la menor cantidad posible de CO₂. Las principales áreas de trabajo, de acuerdo con esta estrategia, son:

- 1) La producción de hidrógeno neutro en carbono usando la gasificación y tecnologías reformadoras.
- 2) Infraestructura de transporte de hidrógeno de gran escala.
- 3) Almacenamiento de hidrógeno in situ y geológico de gran escala.
- 4) Uso de hidrógeno para la generación de electricidad, combustibles y manufactura⁵⁸.

A su vez, la misma entidad ha dado a conocer también un Plan Programático del Hidrógeno que coordina la anterior estrategia junto a los esfuerzos de otras oficinas de la misma institución con el fin de poner a disposición de la transición hacia hidrógeno todo avance tecnológico relevante en materias energéticas. De suyo indica este documento:

La misión [de este programa] es investigar, desarrollar, y validar tecnologías transformadoras de hidrógeno y relacionadas incluyendo celdas de combustible y turbinas, y abordar las barreras institucionales y de mercado, para finalmente habilitar la adopción a través de múltiples aplicaciones y sectores. El desarrollo de energía de hidrógeno de diversos recursos domésticos asegurará que Estados Unidos tenga un suministro abundante, confiable, y asequible de energía limpia para mantener la prosperidad de la nación a través del siglo 21 y más allá⁵⁹.

Así, el programa avizora la participación del Estado en colaboración con la industria, la

academia, los laboratorios nacionales, las agencias federales e internacionales y otras partes interesadas en los siguientes ámbitos de trabajo:

- Superar barreras técnicas a través de investigación y desarrollo básico y aplicado.
- Integrar, demostrar, y validar hidrógeno y otras tecnologías “pioneras en su tipo”.
- Acelerar la transición de innovaciones y tecnologías al sector privado.
- Abordar problemas institucionales incluyendo los de seguridad, educación y desarrollo de fuerza de trabajo, y desarrollo de códigos y estándares.
- Identificar, implementar, y refinar estrategias apropiadas para que los programas Federales catalicen un mercado sustentable y beneficios concomitantes para la economía, el medioambiente, y la seguridad energética⁶⁰.

Uno de los esfuerzos más comunes, pero importantes, al menos en lo que refiere a barreras institucionales y de mercado para la transición hacia la economía de hidrógeno es promover el uso de vehículos eléctricos, de los cuales algunos puedan ser alimentados con hidrógeno (aquellos que usan celdas de combustible), de esta forma se incentiva una exponencial demanda por esta energía limpia. En Estados Unidos algunos estados han empezado a llevar a cabo transformaciones en su legislación para incentivar la producción y compra de estos vehículos.

México

México ha tenido un declive en su productividad de energía, al punto de que las importaciones empezaron a tener un rol cada vez más importante en su suministro desde 2015, aunque aún es minoritario frente a su propia producción. Al igual que Canadá su disponibilidad primaria de energía de carbón es inferior a la de las energías renovables, siendo en 2019 correspondientes al 6,4% y al

⁵⁸ OFFICE OF FOSSIL ENERGY. Hydrogen Strategy: enabling a low-carbon economy. Washington, United States Department of Energy, 2020. p. 2.

⁵⁹ US DEPARTMENT OF ENERGY, Department of Energy Hydrogen Program Plan. Washington, United States Department of Energy, 2020. p. 8.

⁶⁰ *Ibidem*.

9%, respectivamente, frente a ello la primacía la comparten casi equitativamente el petróleo y el gas natural⁶¹. México se comprometió a disminuir en un 22% las emisiones de GEI para 2030 tomando de referencia la proyección tendencial para ese mismo año⁶².

El programa sectorial de energía mexicano, que presenta un plan de trabajo nacional con horizonte a 2024, sin embargo, pone su acento en otra temática; “la soberanía e independencia energética de la Nación, como política de Estado, sustentada en la industrialización y aumento del valor agregado de todas las energías primarias, renovables y no renovables”⁶³. En tal sentido, la aparición del hidrógeno en dicha planificación no es más que circunstancial. Indica el documento como principio para rescatar e impulsar el sector energético que se ha de “explorar la utilización de otras fuentes de energía como el hidrógeno”⁶⁴.

Perú

Perú presenta en sus fuentes primarias de energía un 25% de protagonismo de energías renovables, destacando la biomasa y la energía hidráulica. Esto otorga a nuestro país vecino un potencial destacable en caso de que destinase sus esfuerzos de convertibilidad de dicha energía en hidrógeno⁶⁵.

Sin embargo, en materia energética la prioridad de Perú se encuentra en solventar problemas internos tales como extender la conectividad eléctrica en sectores rurales y fortalecer su

soberanía energética, por lo cual apuesta por la intensificación de su producción de gas natural e hidrocarburos⁶⁶. La Asociación Peruana de Hidrógeno (H2 Perú) es una organización sin fines de lucro que busca impulsar el entusiasmo de las autoridades de dicho país en la proyección de producción de hidrógeno mediante estudios y actividades; dicho organismo sugiere que la transición más provechosa y realista para que Perú pueda producir hidrógeno verde es que primero se embarque en el desarrollo del hidrógeno azul⁶⁷.

En suma, este es el panorama empírico observable en la región ribereña del océano Pacífico, al menos en los países mencionados, muchos de los cuales están a la vanguardia de los desarrollos tecnológicos del mundo, otros, como México y Perú, son países tanto de la misma zona como de nuestra esfera cultural, por lo que es apropiado tener en cuenta sus avances en esta materia.

De este panorama podemos extraer las siguientes conclusiones:

1. Podemos notar que el interés específico por el hidrógeno verde (e incluso por el hidrógeno sea verde o no) ha sido un fenómeno extremadamente reciente incluso en los países de mayor avance económico y tecnológico como Japón, Canadá o Australia, y hasta en superpotencias como China y Estados Unidos. En consecuencia, los países que más pasos han dado en esta materia se encuentran apenas instalando

⁶¹ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. Op. Cit. p. 125.

⁶² GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE MÉXICO. Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030. México, Gobierno de la República de México, 2015. p. 9.

⁶³ Diario Oficial de la Federación. Plan sectorial derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 [en línea]. México: Secretaría de Gobernación. 8 de julio de 2020 [consulta: 5 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020

⁶⁴ *Ibidem*.

⁶⁴ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. Op. Cit. p. 152.

⁶⁶ *Ibid.* p. 157.

⁶⁷ Energía Estratégica. Perú se encamina en la ruta del hidrógeno verde [en línea]. 22 de junio de 2021 [Consulta: 5 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.energiaestrategica.com/peru-se-encamina-en-la-ruta-del-hidrogeno-verde/>

y expandiendo la infraestructura necesaria para siquiera pensar en llegar a producir algún día a gran escala este tipo de energía. La apuesta momentánea de aquellos países es a fomentar y/o invertir en investigación y desarrollo, potenciar el establecimiento de clústeres de hidrógeno y comenzar a estimular su eventual demanda al incentivar su uso, especialmente en automóviles.

2. La producción de hidrógeno en general e hidrógeno verde en particular se encuentra de momento apremiada y subyugada políticamente por la presión que han aceptado los Estados de ponerse ambiciosas metas de reducción de GEI para la segunda mitad del siglo, con énfasis en el año 2050, lo cual implica que gran parte del planeta, incluyendo a países ya industrializados y otros que no lo están, han de cambiar por completo toda su matriz energética en un plazo de 30 años. Esta meta ha generado no poco escepticismo tanto por parte de quienes, o bien sostienen la necesidad de mantener un consumo más realista que no puede abandonar en tan poco tiempo los combustibles fósiles, o bien descartan la narrativa del cambio climático en pro de la soberanía nacional, o bien son tan pesimistas en materia ecológica que consideran este esfuerzo insuficiente y falaz. Conviene aquí también tener en cuenta las advertencias de quienes creen que el hidrógeno solo podrá ser utilizado como complemento secundario a la electricidad o incluso eventualmente a la energía nuclear.

3. En tal sentido, algunos países han asumido otras variantes del hidrógeno, especialmente el hidrógeno azul, como energía de transición más concreta y asequible en el proceso de aumentar los esfuerzos productivos del hidrógeno verde y de abaratar, por ende, sus costos.

4. Comprobamos, a su vez, en la pequeña muestra observada de países de APEC, que no todos los Estados han reaccionado de la misma forma al establecimiento de metas de descarbonización dado en instancias multilaterales como el Acuerdo de París. Por un lado, vemos a países que parecen haber complementado sus intereses nacionales con el estatus que brinda ser pionero en esta materia y tomar la iniciativa estratégica de la producción y comercialización de hidrógeno, tal es el caso de Australia, Canadá y, de forma más pragmática, Estados Unidos. Por otro lado vemos países que privilegian sus fines soberanos nacionales, para los cuales el uso de combustibles fósiles aún tiene la mayor de las importancias, tal es el caso de Rusia, México o Perú y, de forma más ambigua, de la República Popular China, la cual mantiene cierto hermetismo respecto de su estrategia nacional en la materia, pero que de igual forma ha comenzado a destinar esfuerzos de su gigantesco entramado estatal en avanzar en la producción de hidrógeno; no en vano estos países provienen de lo que en la Guerra Fría fueron el bloque comunista y el Tercer Mundo, teniendo aún presente el discurso estructuralista que supone el desdén de las resoluciones ambientales de los países desarrollados en caso de que perjudiquen el desarrollo propio. Finalmente, encontramos países como Japón, Taiwán o Corea del Sur, los cuales a pesar de tener la intención de avanzar en esta materia necesitarán mucha importación energética para lograrlo.

5. Del último aspecto comentado del punto anterior se desprende que la esfera Asia-Pacífico se subdividirá en exportadores e importadores tanto de la energía para producir hidrógeno como del hidrógeno en sí. Países como Australia, Canadá, Estados Unidos y China buscan estar entre los

primeros, mientras que Corea del Sur, Japón y Taiwán se vislumbran como principales importadores. Esta división del trabajo será relevante para entender las relaciones futuras entre los miembros de APEC, especialmente aquellos que compitan para ser proveedores estratégicos.

6. Será de la más alta relevancia la observación de los aspectos geográficos y de la capacidad de producir e importar fuentes de energía primarias renovables, pues estos serán los indicadores directos de la prospectiva de producción exitosa de hidrógeno.

7. Frente al Asia y a los países anglosajones, México y Perú en general han mostrado mucho más atraso en la materia y, de momento, no tienen como prioridad urgente embarcarse en ello. Esto da pie para que Chile se transforme en el competidor latinoamericano más eficaz en esta materia si decide sumarse de forma decidida a la exploración de la producción de esta incipiente tecnología.

4. La proyección de Chile como productor de hidrógeno verde

Según datos del Banco Mundial, nuestro país en 2018 emitió 86.620 kilotonnes de CO₂ a la atmósfera⁶⁸, es decir, el 0,41% de lo que fue emitido por la totalidad de países de APEC y el 0,25% de lo emitido por la totalidad del mundo. Del total de nuestras fuentes primarias de energía en 2019 un 74,3% correspondió a importación de combustibles fósiles, tendencia constante que denota una profunda dependencia energética de Chile. También es preciso destacar que el 24,3% del mencionado indicador ese mismo

año correspondió a energías renovables, en su mayoría producidas localmente, destacando de esa cifra un 69,5% proveniente de biomasa y un 18,3% de energía hidroeléctrica⁶⁹.

A pesar de su minoritaria proporción en términos de emisiones de GEI –especialmente en comparación con otros países-, y considerando que Chile ha tenido una trayectoria diplomática de activa colaboración y participación respecto de las principales iniciativas multilaterales mundiales desde 1990, a diferencia de la mayoría de los países de la región, nuestro país ha expresado de manera sólida y explícita sus intenciones de sumarse a una planificación seria de reducción de emisiones y de transformación energética enfocada a las energías limpias. El compromiso chileno respecto del Acuerdo de París es llegar al carbono-neutralidad para el año 2050 y “reducir sus emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) en un 30% por unidad de Producto Interno Bruto (PIB) al año 2030, con respecto al año 2007”⁷⁰.

Es en este contexto que el Estado chileno anunció en junio de 2019 su Plan de Descarbonización de la Matriz Eléctrica al amparo de las directrices de la Ruta Energética 2018-2022 propuesta por el Ministerio de Energía. El mencionado Plan, a su vez, es producto de la Mesa de Descarbonización Energética constituida en junio de 2018, cuyo objetivo fue “analizar los efectos del retiro y/o conversión de unidades a carbón sobre la seguridad y la eficiencia económica del sistema eléctrico nacional, la actividad económica local y los aspectos medioambientales que tengan incidencia”⁷¹.

De dicha mesa emerge un cronograma de retiro o reconversión de centrales a carbón,

⁶⁸ Según los datos del APEC Energy Working Group Chile emitió 86.006 kilotonnes de CO₂ a la atmósfera, es decir, solo un margen de 618 kilotonnes menos de margen.

⁶⁹ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. Op. Cit. pp. 37-38.

⁷⁰ Ministerio de Energía. Plan de Descarbonización proceso histórico para Chile [en línea]. Santiago: Ministerio de Energía. 17 de julio de 2019 [consulta: 10 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://energia.gob.cl/noticias/aysen-del-general-carlos-ibanez-del-campo/plan-de-descarbonizacion-proceso-historico-para-chile>

⁷¹ MINISTERIO DE ENERGÍA. Decreto Exento N°50. Santiago, 13 de marzo de 2020.

el cual contempla, en primera instancia, una etapa proyectada al año 2024 en la cual han de cesar sus actividades las ocho centrales termoeléctricas más antiguas, las cuales producen un 19% de la totalidad de la energía producida por centrales de este tipo. En una segunda instancia, el compromiso consiste en

definir fechas en nuevas mesas de trabajo conformadas cada cinco años, que permitan establecer cronogramas específicos de retiro, con la visión común de los sectores público y privado para el retiro del parque total de centrales a carbón antes del 2040⁷².

En este contexto, como parte de este plan, vio la luz el Acuerdo de Retiro de Centrales Termoeléctricas a Carbón entre ENEL Generación Chile S.A., Gasatacama Chile S.A. y el Ministerio de Energía, el cual “se funda en el cumplimiento de los compromisos de Chile en el marco de la Contribución Nacional de Chile para el Acuerdo Climático de París 2015 para mitigar las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero”⁷³ y que se ajusta a lo estipulado para la primera etapa del plan general de descarbonización, generando un compromiso vinculante de retiro de termoeléctricas.

Posteriormente, en el mes de julio de 2021 el Gobierno de Chile anunció una medida aceleradora del proceso mencionado, el retiro anticipado de cuatro termoeléctricas pertenecientes a AES Andes, con lo cual solo se proyecta que en el período entre 2024 y 2040

solo permanezcan 10 de las 28 termoeléctricas que existían antes de iniciado el plan; así, en palabras del biministro de Energía y Minería, Juan Carlos Jobet, “un 65% de la capacidad de generación a carbón del país estará en condiciones de ser retirada”⁷⁴.

En materia de hidrógeno, Chile cuenta hasta el momento con solo dos empresas produciendo hidrógeno azul, el cual se utiliza en las industrias del petróleo, alimenticia, del vidrio, refrigeración y tratamientos térmicos⁷⁵; sin embargo, el Ministerio de Energía en noviembre de 2020 publicó su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, en la cual se plasma la hoja de ruta tentativa a seguir por nuestro país para la producción y exportación de esta fuente de energía limpia.

“Uno de los principales impulsos de entusiasmo de Chile para proyectarse como eventual potencia de exportación y producción de hidrógeno verde radica en las ventajas geográficas importantes que le otorgan un papel privilegiado en la prospectiva de producción de energías limpias en general.”

Uno de los principales impulsos de entusiasmo de Chile para proyectarse como eventual potencia de exportación y producción de hidrógeno verde radica en las ventajas geográficas importantes que le otorgan un papel privilegiado en la prospectiva de producción de energías limpias en general. El Asia Pacific Energy Research Centre lo destaca de la siguiente manera:

El Desierto de Atacama en el norte ostenta una irradiancia de más de 9 kilovatios la hora (kWh) por metro cuadrado (m²) al día, la más alta en el mundo. En su extremo sur, junto con Argentina, Chile tiene los mejores recursos de viento en tierra firme del mundo⁷⁶.

⁷² MINISTERIO DE ENERGÍA. Plan de Descarbonización proceso histórico para Chile.

⁷³ MINISTERIO DE ENERGÍA. Decreto Exento N° 50.

⁷⁴ Electricidad. Descarbonización: estas son las cuatro centrales a carbón que se retirarán a 2025 [en línea]. Santiago: Electricidad. 6 de julio de 2021 [Consulta 12 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.revistaei.cl/2021/07/06/descarbonizacion-estas-son-las-cuatro-centrales-a-carbon-que-se-retiraran-desde-2025/>

⁷⁵ OSORIO, Juan Carlos, PÉREZ, Joel y REYES, Lorenzo. Hidrógeno Verde en Chile: ¿la gran oportunidad para crear un modelo de desarrollo ejemplar? [en línea]. Santiago: Ciper Chile. 29 de mayo de 2021 [Consulta: 12 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ciperchile.cl/2021/05/29/hidrogeno-verde-en-chile-la-gran-oportunidad-para-crear-un-modelo-de-desarrollo-ejemplar/>

⁷⁶ ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. p. 38.

De lo anterior se desprende una consecuencia contextual de índole geopolítica interna para nuestro país, la necesidad de establecer los centros de investigación y producción de energías limpias como el hidrógeno verde en las zonas más alejadas de la capital y el valle central, lo cual beneficia a la población local en materias como la descentralización del desarrollo, pero también requiere de redoblar los esfuerzos en materia de infraestructura, logística y conectividad para que estas nuevas energías puedan utilizarse en todo el territorio nacional; sobre esto ya hemos destacado que el hidrógeno verde presenta características especiales que hacen de su almacenamiento y transporte un asunto más complejo que en el caso del común de los combustibles fósiles.

Chile apuesta por que sus características geográficas le permitirían obtener el hidrógeno verde “más competitivo del planeta”; en tal sentido se indica:

Las bajas en costos de electrolizadores y de generación renovable habilitarán un hidrógeno verde competitivo doméstica e internacionalmente. La creciente disponibilidad de financiamiento verde y los beneficios tributarios vigentes para zonas extremas son otros de los factores que contribuirán a la competitividad de los modelos de negocio basados en este combustible limpio en Chile.

El hidrógeno verde producido en el Desierto de Atacama y en la Región de Magallanes tendría el costo nivelado de producción más bajo del mundo al 2030. La calidad de los recursos renovables de esas zonas habilitará una producción competitiva a gran escala⁷⁷.

Es subentendido que el mercado del hidrógeno verde debe ser considerado tanto en un nivel interno como externo, y suele entenderse que el consumo interno es el primer escalón para dar el salto a la exportación. En tal sentido, la Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde indica que “La inversión en hidrógeno verde estará

aparejada de generación de capacidades locales y creará polos de desarrollo a lo largo de nuestro territorio”⁷⁸; y dicho proceso considera tres etapas u “oleadas”.

En una primera etapa se potenciará la demanda interna en términos de consumo doméstico de gran escala, lo cual incluye el reemplazo de amoníaco importado por producción local, reemplazo del hidrógeno gris que hoy se emplea en refinerías y uso en transporte de pasajeros y en camiones de carga pesada. En una segunda etapa que apunta a la segunda mitad de la década el foco estará en la expansión de los usos del hidrógeno verde en transporte y minería y la apertura de su comercialización internacional. Finalmente, la tercera oleada proyecta para el largo plazo el uso de hidrógeno verde en transporte aéreo y marítimo y la consolidación y expansión de los mercados internacionales⁷⁹. En un estado óptimo, Chile espera para el año 2030 ser líder exportador global de hidrógeno verde y sus derivados, obteniendo alrededor de 2,5 miles de millones de dólares de ganancia; a su vez, el hidrógeno verde chileno sería el más barato del mundo, a un precio menor a 1,5 dólares el kilogramo. Finalmente, nuestro país proyecta como objetivo ser el líder productor a nivel global obteniendo 25 gigavatios al año por electrólisis⁸⁰.

Según constata un estudio particular sobre la materia,

se simularon escenarios de transición energética para Chile al 2050, en el escenario basado en la obtención de un sistema energético al menor costo posible, se estima que se deberían instalar 0,3 GW de electrolizadores al 2030, 2,4 GW al 2040 y 15 GW al 2050, mientras que, en un escenario 100% basado en fuentes renovables, se tendrían que instalar una capacidad total de 1,3 GW de electrolizadores al 2030, 19 GW al 2040 y 30 GW al 2050⁸¹.

⁷⁷ GOBIERNO DE CHILE. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde: Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones. Santiago, Ministerio de Energía, 2020. p. 11.

⁷⁸ *Ibíd.* p. 12.

⁷⁹ *Ibíd.* p. 13.

⁸⁰ *Ibíd.* p. 19.

⁸¹ OSORIO, Juan Carlos, Pérez, Joel y Reyes, Lorenzo. Hidrógeno Verde en Chile: ¿la gran oportunidad para crear un modelo de desarrollo ejemplar? [en línea]. Ciper Chile.

Esta gran apuesta solo puede ver la luz con una importante y seria inversión en tecnología, infraestructura crítica, formación y capacitación profesional, es decir, múltiples enfoques relacionados no solo con la producción misma del hidrógeno verde, sino con capacidades que a nivel país requieren una exigencia mayor de profundo compromiso tanto del sector público como del sector privado. La transformación que viene de la mano de un cambio radical en la matriz energética de un país es de tal magnitud que implica una mutación hasta de la forma en la que los chilenos habitarán sus ciudades y afectará la forma en la que se relacionará la capital con las regiones, especialmente si este impulso de innovación obtiene logros importantes en materia de descentralización. Esta transformación tendrá impactos sobre la vida cotidiana de las personas y la prolijidad en su ejecución deja de ser solo recomendable, sino que pasa a ser un deber del Estado y la sociedad civil involucrada.

De momento, Chile ha privilegiado una estrategia que combina elementos horizontales tales como fomentar la coordinación privada y disponer de \$50 millones de USD como capital semilla para las primeras electrolizadoras y elementos verticales tales como destinar recursos estatales directamente al desarrollo de hidrógeno verde. El economista Klaus Schmidt-Hebbel comenta que se estima que las inversiones en Chile para producir hidrógeno verde y sus derivados serán de aproximadamente \$45.000 millones de USD para 2030 y de \$330.000 millones de USD para 2050, mientras que, el valor de esa producción alcanzaría en 2050 los \$33.000 millones de USD anuales, de los cuales se exportarían \$24.000 millones de USD, lo cual es equivalente al 66% de las exportaciones de cobre en 2020⁸².

El mismo Schmidt-Hebbel figura como uno de los consultores asociados al que es el primer proyecto concreto establecido para desarrollo de hidrógeno verde en el país: el proyecto Haru Oni de la empresa Highly Innovative Fuels, el cual se está instalando actualmente en la Región de Magallanes y la Antártica Chilena. Al anunciar este proyecto, el biministro Jobet declaró:

Como país, tenemos las mejores condiciones estratégicas para producir y exportar hidrógeno verde. Y Magallanes es uno de los polos privilegiados por ellas. No sólo cuenta con un excelente potencial en energía eólica, sino que también posee la infraestructura, y experiencia petroquímica necesarias para convertirse en una zona de protagonismo internacional en el llamado combustible del futuro⁸³.

A tal avance se suma el ya mencionado prospecto de cooperación eventual entre Chile y Japón, y es que dada la complementariedad de ambos países es posible combinar el aventajado territorio nacional chileno con el desarrollo tecnológico del país asiático, lo cual permitiría que ambas naciones den un salto conjunto en la materia, ganando tiempo valiosísimo al ser amortiguadas las falencias de cada una, cuya resolución podría tomar años por separado.

Ahora bien, otro aspecto que debe ocuparnos respecto de la transformación de la matriz energética, tanto de forma constante y actualizada como en perspectiva de proceso completo, es la seguridad, puesto que sin una praxis política que asegure el control y reducción de amenazas, toda esta planificación nacional puede verse comprometida e incluso frustrada.

Hasta el año 2019 nuestro país no exhibía de forma sustantiva la necesidad de enfrentar amenazas internas o crisis profundas de gobernabilidad, todo lo cual era siempre común a otros países latinoamericanos. Sin embargo,

⁸² SCHMIDT-HEBBEL, Klaus. Hidrógeno verde: el futuro de Chile [en línea]. Santiago: El Mercurio. 15 de septiembre de 2021 [consulta: 13 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.elmercurio.com/blogs/2021/09/15/91572/hidrogeno-verde-futuro-de-chile.aspx>

⁸³ MINISTERIO DE ENERGÍA. Ministro Juan Carlos Jobet: “Es un día histórico. Desde Magallanes, estaremos produciendo el combustible del futuro para combatir el cambio climático” [en línea]. Santiago: Ministerio de Energía. 11 de mayo de 2021 [consulta: 13 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/ministro-juan-carlos-jobet-es-un-dia-historico-desde-magallanes-estaremos-produciendo-el-combustible-del-futuro-para-combatir-el-cambio-climatico>

desde un levantamiento político ocurrido en octubre del mencionado año hasta el día de hoy se ha vuelto un imperativo recuperar la estabilidad, especialmente en las provincias de Arauco, Malleco y Cautín donde grupos armados contra el Estado de Chile se han convertido en una amenaza tangible que se ha visto fortalecida por la crisis política general.

El éxito de una transformación de la matriz energética de Chile, que requiere la mejor conectividad para todo el territorio nacional, es inversamente proporcional al auge de grupos radicales que cuestionan y amenazan la integridad territorial del Estado. Cabe aquí entonces convenir que es preciso actualizar y consolidar las políticas del Estado respecto a salvaguardia y custodia de infraestructura estratégica y crítica, particularmente en esta materia.

El académico Henry Mintzberg distinguió la infraestructura estratégica y crítica de la siguiente manera: si la infraestructura estratégica es aquella que da soporte a un servicio esencial, la infraestructura crítica es un tipo de infraestructura estratégica que, más aún, no tiene ninguna infraestructura alternativa que permita solventar su daño o perjuicio⁸⁴. Siguiendo tal sistematización, de momento es de suprema necesidad considerar que los proyectos de hidrógeno verde en proceso de establecimiento y *ad-portas* de establecerse requieren ser considerados infraestructura estratégica nacional y, eventualmente, a medida que los mismos objetivos de descarbonización se

vayan cumpliendo y la producción de hidrógeno verde adquiera el protagonismo esperado para mitad de siglo, sin duda merecerá el tratamiento de infraestructura crítica.

Si bien excede de nuestra intención referirnos a la crisis institucional que atraviesa el país, no consideramos aventurado el advertir que de su pronta solución dependerá también que

“El éxito de una transformación de la matriz energética de Chile, que requiere la mejor conectividad para todo el territorio nacional, es inversamente proporcional al auge de grupos radicales que cuestionan y amenazan la integridad territorial del Estado.”

la transformación de nuestra matriz energética sea cumplida de buena manera; ya que incluso el eventual encarecimiento de los materiales, del personal y del desarrollo tecnológico debido a una mala administración económica nacional -un riesgo latente en tiempos de crisis- serían una piedra en el zapato para un proceso tan caro como el que hemos explorado, proceso en el cual el primer país que tenga la fórmula más económica para producir hidrógeno verde

tendrá la iniciativa y preponderancia estratégica, y hemos visto que en el Asia Pacífico no son pocos los competidores de Chile.

Por de pronto, considerando de antemano la conversión de los proyectos de producción de hidrógeno verde en infraestructura crítica, y anteponiéndonos a escenarios de la máxima complejidad en materia de seguridad, la infraestructura crítica de la nación deberá ser resguardada de organizaciones terroristas, grupos insurgentes, narcotraficantes, traficantes de armas, ciberatacantes, mafias y señores de la guerra.

Por su parte, el despegue de la producción nacional de hidrógeno verde se enfrentará a

⁸⁴ HORZELLA, Bárbara. Protección de infraestructura crítica y Fuerzas Armadas. Valparaíso, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2019. p. 3.

las vicisitudes de las dinámicas geopolíticas del Asia Pacífico. En un primer nivel, Chile deberá consolidar su liderazgo a nivel latinoamericano, en segundo lugar, ofrecer la competitividad anhelada frente a competidores tales como Australia o Canadá, y en tercer lugar ajustar su participación económica y política en la región de forma conveniente a los intereses y los valores nacionales en un contexto de competencia entre Estados Unidos y la República Popular China por el predominio geopolítico no solo en la zona, sino en el mundo.

Por ahora no se ciernen amenazas externas sobre Chile de orden bélico, para lo cual la protección de la infraestructura estratégica y crítica requiere ser defendida por las Fuerzas Armadas, lo que no implica que dicha planificación deba descuidarse. Sin embargo, tanto Chile como los otros Estados de la región oceánica y latinoamericana deben poner atención a las amenazas transnacionales de carácter no estatal, las cuales corresponden básicamente a organizaciones criminales de acción transnacional, piratas y todo tipo de insurgentes que operan a través de las fronteras gracias a la liquidez territorial y política que ofrece la globalización. Todas estas amenazas no convencionales deberán ser consideradas para una política nacional seria de seguridad relativa a infraestructura crítica, así como también para estrategias conjuntas de carácter bilateral o multilateral, dependiendo del caso.

6. Conclusiones

No puede entenderse el proceso por el cual Chile se aventura a sumarse a la exploración seria para eventual producción de hidrógeno verde con miras a la descarbonización y a la exportación energética de gran escala hacia

el Asia Pacífico si no se pondera la decisión político-estratégica correspondiente con el contexto geopolítico subyacente.

Hemos dicho que existen tres posiciones teóricas que pueden adoptarse frente al fenómeno del cambio climático y la descarbonización:

“Por ahora no se ciernen amenazas externas sobre Chile de orden bélico, para lo cual la protección de la infraestructura estratégica y crítica requiere ser defendida por las Fuerzas Armadas, lo que no implica que dicha planificación deba descuidarse.”

- La postura en pro de la sustentabilidad que busca mantener un nivel productivo tanto o más alto que el actual logrando aminorar y/o anular lo más posible el daño medioambiental; esta postura es la más comúnmente aceptada por los Estados del mundo, al menos nominalmente, debido a que representa el óptimo resultado de mantener el ritmo del desarrollo al que

la humanidad se ha acostumbrado sin sacrificar el planeta a cambio. Sin embargo, al ser ponderada esta narrativa con la persistencia de la primacía de los intereses nacionales involucrados -en contraposición con los objetivos estrictamente altruistas que se intentan promover en las instancias de diálogo multilateral- el asumir de forma activa los compromisos de sustentabilidad puede ajustarse tanto a una búsqueda de estatus como de provecho económico. Tal es el camino que han adoptado países como Australia, Canadá y Chile, los cuales, tomando con fuerza las banderas del activismo climático buscan, a la vez, convertirse en líderes de la exportación de materias limpias.

- La postura escéptica del cambio climático y contraria a la descarbonización, la cual no suele ser asumida de forma directa por los Estados, salvo excepciones, algunas de las cuales se relacionan más bien con

gobernantes particulares. Esta postura suele basarse en una contradicción entre los principios de la agenda multilateral de descarbonización y los intereses nacionales de ciertos países; tenemos, entonces, dos principales fundamentos para actuar en consecuencia: a) la mera excepcionalidad que brinda el poder geopolítico, tal es el caso de China y Estados Unidos y b) la visión crítica estructuralista que considera que los países en vías de desarrollo tienen derecho a industrializarse de la forma que estimen conveniente para alcanzar el desarrollo, noción muy integrada en la mayoría de los países latinoamericanos, siendo México y Perú ejemplos de ello en su planificación enfocada a la soberanía energética.

- La postura catastrófica que considera que mientras el capitalismo perviva será imposible evitar un cataclismo planetario, esta postura no es seguida por ningún Estado ni suele ser muy común en los planteamientos político-formales de los países; sin embargo, suele alimentar movimientos antisistémicos que en determinadas ocasiones afrontan a la gobernabilidad de los Estados.

Tomando de referencia las dos primeras posturas, podemos decir que los países firmantes del Acuerdo de París siguen dos modalidades: si su interés nacional se ajusta al estatus que ofrece el proyecto político de la descarbonización y se le puede sacar un provecho económico claro, entonces los Estados actúan de buena fe respecto de los objetivos de dicha agenda multilateral. En cambio, si sus intereses nacionales chocan en algún punto con esta última, podemos encontrar países tendientes a actuar de mala fe, puesto que acatan nominalmente el compromiso de la descarbonización por el estatus que brinda, pero que son ambiguos en sus estrategias o evitan completamente realizar acciones al respecto. En esta división de modalidades hemos indicado

que Chile se suma a los países que actúan de buena fe en materia de descarbonización, siendo de hecho un fenómeno frecuentemente llamativo el hecho de que nuestro país se suele alejar completamente de los discursos críticos del sistema internacional que son comunes en los demás países latinoamericanos. Desde 1990 Chile ha seguido una tradición de compromiso con las iniciativas transnacionales con miras de elevar su estatus internacional como país confiable y cercano institucionalmente a los países desarrollados. En tal contexto, a menos que fuerzas políticas disidentes del proyecto de descarbonización tomen oficialmente el poder en el país, Chile seguirá su camino tratando de cumplir a cabalidad sus compromisos de carbono-neutralidad para el año 2050 y su anhelo de ser un exportador líder de hidrógeno verde.

El mundo hoy mira hacia el océano Pacífico y las principales economías de APEC en materia energética son de tres tipos: a) exportadores natos de energía como Canadá o Australia, b) importadores natos de energía como Japón, Corea del Sur o Taiwán, o c) países que, dependiendo del tipo de energía, su uso, o sus características geográficas, combinan la importación con la exportación, tales como China o Estados Unidos. Chile ha sido históricamente un país importador de combustibles fósiles, sin embargo, en un contexto eventual de apogeo en el desarrollo de hidrógeno verde su apuesta es convertirse en exportador, lo que implica un cambio radical en la forma que tiene el país de producir, almacenar y distribuir energía.

Si consideramos que: i) la meta establecida a 2050 para lograr cero emisiones de GEI es enormemente ambiciosa para cualquier país, incluso los más desarrollados, ii) que todos los países, sin excepción, están recién empezando a desarrollar la infraestructura y tecnología adecuada, iii) que los elevados precios de producción de hidrógeno verde han llevado a los Estados a esperar que, solo mediante dinámicas de mercado, los precios para establecer

electrolizadoras a nivel industrial caerán para el año 2040, iv) que muchos Estados han asumido la producción de hidrógeno azul como transición plausible para posteriormente aumentar la de hidrógeno verde, v) que para algunos especialistas lo más realista es considerar que el hidrógeno verde será una opción secundaria a la electricidad, y vi) que todo el desarrollo de tecnología, especialistas e infraestructura no tendrá eventualmente éxito si los Estados no generan las condiciones para que haya cambios en la demanda energética de los ciudadanos en vez de afectar en forma draconiana la oferta, Chile tendrá la necesidad de revisar en detalle e ir actualizando constantemente su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde si quiere que su capacidad de producción sea competitiva con países mucho más desarrollados como Canadá o Australia.

Chile ha asumido un compromiso de buena fe con el proyecto transnacional de descarbonización y, más aún anhela ser líder exportador de hidrógeno verde -un combustible aún en estado embrionario respecto de su eventual producción y uso masivo aspirado- compitiendo de par a par con países desarrollados, y tal decisión requiere de la mayor de las disciplinas e inteligencia

estratégica para que dé como fruto buenos resultados, especialmente en un contexto político de crisis que amenaza la continuidad del modelo político, económico e institucional del país.

Debido a este último aspecto no hemos querido olvidar mencionar la necesidad que tendrá el Estado de Chile de resguardar la seguridad de su infraestructura estratégica y crítica, siendo sin duda la nascente industria del hidrógeno verde parte de ella, estratégica de momento y crítica conforme Chile se acerque a sus objetivos de descarbonización.

Planteando el escenario geopolítico completo en el cual se circunscribe la futura producción de hidrógeno verde de nuestro país, buscamos hacer un aporte para la reflexión lúcida y realista que tomadores de decisiones deberán llevar a cabo en esta materia. La primacía energética en un contexto de cuestionamiento transnacional ascendente a las consecuencias del llamado “antropoceno” apuesta por convertirse en uno de los pilares de toda cuestión geopolítica para las décadas venideras del presente siglo, y concordamos con que Chile deberá estar a la altura de las circunstancias.

BIBLIOGRAFÍA

Libros y documentos:

ASIA PACIFIC ENERGY RESEARCH CENTRE. APEC Energy Overview 2021. Tokio, Asia Pacific Energy Research Centre, 2021.

COAG ENERGY COUNCIL HYDROGEN WORKING GROUP. Australia's National Hydrogen Strategy. COAG Energy Council, 2019.

DANOWSKI, Déborah y VIVEIROS DE CASTRO, Eduardo. ¿Hay mundo por venir? Ensayo sobre los miedos y los fines. Buenos Aires, Editorial Caja Negra, 2019.

FERNÁNDEZ, Ramón. El Antropoceno. La expansión del capitalismo global choca con la biosfera. Barcelona, Virus Editorial, 2011.

GOBIERNO DE CANADÁ. Achieving a sustainable future: a federal sustainable development strategy for Canada, 2019 to 2022. Gatineau, Environment and Climate Change Canada, 2019.

GOBIERNO DE CHILE. Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde: Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones. Santiago, Ministerio de Energía, 2020.

GOBIERNO DE LA REPÚBLICA DE MÉXICO. Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030. México, Gobierno de la República de México, 2015.

HORZELLA, Bárbara. Protección de infraestructura crítica y Fuerzas Armadas. Valparaíso, Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. The future of hydrogen: Seizing today's opportunities. París, IEA Publications, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2019. París, IEA Publications, 2019.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Hydrogen: A renewable energy perspective. Report prepared for the 2nd Hydrogen Energy Ministerial Meeting in Tokyo, Japan. Abu Dhabi, International Renewable Energy Agency, 2019.

NATURAL RESOURCES CANADA. Hydrogen strategy for Canada: seizing the opportunities for hydrogen, a call to action. Gatineau, Natural Resources Canada, 2020.

OFFICE OF FOSSIL ENERGY. Hydrogen Strategy: enabling a low-carbon economy. Washington, United States Department of Energy, 2020.

SCRUTON, Roger. Green philosophy: How to think seriously about the planet. Londres, Atlantic Books, 2013.

US DEPARTMENT OF ENERGY, Department of Energy Hydrogen Program Plan. Washington, United States Department of Energy, 2020.

Normativas:

Acuerdo de París. [Internacional]

Decreto de aplicación de la Ley Marco sobre Bajo Carbono, Crecimiento Verde. [República de Corea]

Decreto Exento n°50 del Ministerio de Energía. [Chile]

Ley Marco sobre Bajo Carbono, Crecimiento Verde. [República de Corea]

Extraído de páginas web:

Aduanas de Chile. Foro de Cooperación Económica de Asia-Pacífico [en línea]. s.f. [consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.aduana.cl/foro-de-cooperacion-economica-de-asia-pacifico-apec/aduana/2007-02-28/103547.html>

Ambrose, Jillian. First UK homes with hydrogen boilers and hobs to be built by April. The Guardian, Londres, 16 febrero, 2021. [consulta: 28 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.theguardian.com/business/2021/feb/16/first-uk-homes-with-hydrogen-boilers-and-hobs-to-be-built-by-april>

APEC Energy Working Group. CO2 emission table [en línea]. s.f. [Consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://www.egeda.ewg.apec.org/egeda/database_info/co2_select_form.html

Asia-Pacific Economic Cooperation. Mission statement [en línea]. Septiembre de 2021 [consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.apec.org/about-us/about-apec/mission-statement>

Asia-Pacific Economic Cooperation. Sustainable Development [en línea]. s.f. [consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.apec.org/groups/other-groups/sustainable-development>

Banco Mundial. Emisiones de CO2 (kt) [en línea]. s.f. [consulta: 8 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EN.ATM.CO2E.KT>

Banco Mundial. PIB (US\$ a precios actuales) [en línea]. s.f. [consulta: 1 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD?end=2020&start=1960&view=chart>

Bloomberg, 2021. China aprueba un megaproyecto de hidrógeno verde [en línea]. Miami: World Energy Trade. 20 de agosto de 2021 [consulta: 7 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/gas/china-aprueba-un-megaproyecto-de-hidrogeno-verde>

ClientEarth Communications. Fossil fuels and climate change: the facts [en línea]. Londres: ClientEarth. 11 de noviembre de 2020. [consulta: 28 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.clientearth.org/latest/latest-updates/stories/fossil-fuels-and-climate-change-the-facts/>

Diario Oficial de la Federación. Plan sectorial derivado del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 [en línea]. México: Secretaría de Gobernación. 8 de julio de 2020 [consulta: 5 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020

DiCristopher, Tom. Experts explain why green hydrogen costs have fallen and will keep falling [en línea]. S&P Global Intelligence. 5 de marzo de 2021. [consulta: 28 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/experts-explain-why-green-hydrogen-costs-have-fallen-and-will-keep-falling-63037203>

El Mercurio. Cómo la gran apuesta de Japón por el hidrógeno podría revolucionar el mercado de energía [en línea]. Nex News. 21 de junio de 2021 [consulta: 6 de noviembre de 2021]. Disponible en: https://portal.nexnews.cl/showN?valor=go027&mc_cid=47cd3f4484&mc_eid=89e31b35a1

Electricidad. Descarbonización: estas son las cuatro centrales a carbón que se retirarán a 2025 [en línea]. Santiago: Electricidad. 6 de julio de 2021 [Consulta 12 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.revistaei.cl/2021/07/06/descarbonizacion-estas-son-las-cuatro-centrales-a-carbon-que-se-retiraran-desde-2025/>

Electricidad. Hidrógeno verde: Chile y Japón analizarán el potencial conjunto en torno a este recurso [en línea]. Santiago: Electricidad. 31 de mayo de 2021 [consulta: 6 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.revistaei.cl/2021/05/31/hidrogeno-verde-chile-y-japon-analizaran-el-potencial-conjunto-en-torno-a-este-recurso/>

Energía Estratégica. Perú se encamina en la ruta del hidrógeno verde [en línea]. 22 de junio de 2021 [Consulta: 5 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.energiaestrategica.com/peru-se-encamina-en-la-ruta-del-hidrogeno-verde/>

Ministerio de Energía. Ministro Juan Carlos Jobet: “Es un día histórico. Desde Magallanes, estaremos produciendo el combustible del futuro para combatir el cambio climático” [en línea]. Santiago: Ministerio de Energía. 11 de mayo de 2021 [consulta: 13 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/ministro-juan-carlos-jobet-es-un-dia-historico-desde-magallanes-estaremos-produciendo-el-combustible-del-futuro-para-combatir-el-cambio-climatico>

Ministerio de Energía. Plan de Descarbonización proceso histórico para Chile [en línea]. Santiago: Ministerio de Energía. 17 de julio de 2019 [consulta: 10 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://energia.gob.cl/noticias/aysen-del-general-carlos-ibanez-del-campo/plan-de-descarbonizacion-proceso-historico-para-chile>

Observatorio Parlamentario. COP26: “La ausencia de Xi Jinping y el aporte de China en la lucha contra el cambio climático” [en línea]. Valparaíso: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. 4 de noviembre de 2021 [consulta: 7 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/cop26-glasgow-2021-ausencia-xi-jinping>

Osorio, Juan Carlos, Pérez, Joel y Reyes, Lorenzo. Hidrógeno Verde en Chile: ¿la gran oportunidad para crear un modelo de desarrollo ejemplar? [en línea]. Santiago: Ciper Chile. 29 de mayo de 2021 [Consulta: 12 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.ciperchile.cl/2021/05/29/hidrogeno-verde-en-chile-la-gran-oportunidad-para-crear-un-modelo-de-desarrollo-ejemplar/>

Schmidt-Hebbel, Klaus. Hidrógeno verde: el futuro de Chile [en línea]. Santiago: El Mercurio. 15 de septiembre de 2021 [consulta: 13 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.elmercurio.com/blogs/2021/09/15/91572/hidrogeno-verde-futuro-de-chile.aspx>

Secretaría de Sustentabilidad de la Universidad Autónoma de Nuevo León. ¿Qué es el desarrollo sustentable? [en línea]. Monterrey: Universidad Autónoma de Nuevo León. s.f. [consulta: 30 de septiembre de 2021]. Disponible en: http://sds.uanl.mx/desarrollo_sustentable/

Wood Mackenzie. The future for green hydrogen [en línea]. 25 de octubre de 2019. [consulta: 12 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.woodmac.com/news/editorial/the-future-for-green-hydrogen/>

Yuko Sugigaki. Japanese tech to slash green hydrogen costs by two thirds [en línea]. Tokio: Nikkei Asia. 20 de junio de 2021 [consulta: 6 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://asia.nikkei.com/Spotlight/Environment/Japanese-tech-to-slash-green-hydrogen-costs-by-two-thirds>

