



FLACSO
ARGENTINA

PROGRAMA DE DESARROLLO HUMANO

MAESTRÍA EN DESARROLLO HUMANO

**Análisis del hidrógeno bajo en emisiones en Argentina y su
relación con el desarrollo humano para el cumplimiento de los
ODS.**

Tesista

María Florencia Maidana

Director/a de Tesis

Carina Guzowski

Marina Yesica Recalde

**Tesis para optar por el grado académico de Magister en Desarrollo
Humano**

Fecha: 30/08/2023

ÍNDICE

1. Introducción	2
2. Marco teórico: Hidrógeno bajo en emisiones y desarrollo sostenible. Conceptualización e interacciones.	5
3. Marco metodológico	11
3.1. Diseño, técnicas y fuentes	12
4. Experiencia internacional y regional: El caso de Chile.	14
5. Análisis del caso argentino: oportunidades y desafíos para la transición energética justa y el desarrollo humano.	29
5.1. Oportunidades para la industria local como proveedora de insumos a la cadena productiva de hidrógeno bajo en emisiones.....	44
5.2. Experiencias de producción de valles del hidrógeno en Argentina: Estado Actual de las iniciativas.....	49
6. Conclusiones.....	51
7. Referencias.....	54

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por el don de la vida, por hacerme inquieta y por todas las oportunidades que me ha regalado a lo largo del camino.

Al momento de iniciar esta Maestría en FLACSO lo hice con la ilusión de poder acceder a una beca para ampliar mi formación con una mirada integral y más que necesaria en el mundo actual. La misma me fue concedida, lo cual me llena de orgullo e inmenso agradecimiento a la institución. Gracias por esto y por todo lo brindado durante estos años.

Agradezco también a mi familia, mi pilar fundamental en cada paso que doy, como solo ese familión sabe hacerlo. Sin ustedes no sería nada de lo que soy.

A mi esposo Martín, agradecimiento aparte, por ser mi sostén diario, ocupándose de todo para que yo pueda cumplir mis metas. Gracias y perdón por mis ausencias.

A mi hija María Delfina, mi pequeño milagro, con quien desde que estaba en la panza viajamos para hacer las entrevistas, para asistir a capacitaciones y con quien nos quedamos noches enteras despiertas para investigar y escribir. Hoy, tengo la dicha de redactar estas líneas con ella en mis brazos. Gracias, hija.

Finalmente, gracias a mis tutoras, Carina y Marina, profesionales de primer nivel con quienes tuve el honor de realizar esta tesis. No tengo palabras para agradecerles por haber sido tan pacientes conmigo, ponerme metas, ayudarme al cien por cien, guiarme con amor y haberme animado a culminar esta etapa.

Análisis del hidrógeno bajo en emisiones en Argentina y su relación con el desarrollo humano para el cumplimiento de los ODS.

1. Introducción

En la actualidad, el hidrógeno verde (H2V) ha concitado grandes expectativas a nivel global por el potencial que posee como vector energético para aprovechar las fuentes renovables de energía, especialmente eólica y solar fotovoltaica. En este contexto, Argentina se encuentra en una posición privilegiada, ya que se caracteriza por tener abundantes recursos naturales (RRNN) para la producción de energía. Asimismo, se encuentra impulsando fuertemente este sector con vistas a desarrollar un verdadero ecosistema del hidrógeno a nivel nacional de manera de que esta fuente de energía se proyecte como un vector energético que posibilite el acceso a nuevas fuentes de energía menos contaminantes y que permita una transición energética justa. Lo anterior posibilitará acompañar las políticas que el estado nacional está llevando a cabo para cumplir con los compromisos climáticos a partir de los acuerdos posteriores al Protocolo de Kioto en el año 2015. Este trabajo de investigación propone ahondar en la relación entre las políticas de promoción del hidrógeno bajo en emisiones y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), principalmente el número siete, a fin de promover una transición energética justa en Argentina. Esta propuesta de investigación tiene un carácter exploratorio y descriptivo y se basa en técnicas de investigación cualitativas que le permitan cumplir la meta planteada anteriormente.

En el año 2015 se adopta desde las Naciones Unidas, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. La misma plantea 17 Objetivos que buscan orientar la transición hacia la sostenibilidad. Los mismos están formados por 169 metas de carácter integrado e indivisible que abarcan las esferas económica, social y ambiental. Entre los 17 ODS, se ha propuesto como séptimo objetivo el garantizar para el año 2030 el “acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos” (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015).

El ODS 7 es un pilar fundamental de los objetivos de desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2018), siendo uno de los elementos base para la satisfacción de una gran variedad de necesidades humanas, el desarrollo económico y humano (Bhatia y Angelou, 2015; Nadimi y Tokimatsu, 2018; Thomson et al, 2017).

El hidrógeno (H2) es un vector energético con el potencial de contribuir a la consecución de este objetivo y transversalmente al resto de objetivos de la Agenda 2030. Se calcula que el mismo podría representar hasta el 12% de la energía mundial en 2050. Actualmente, los países que lideran su producción son: China, Estados Unidos, la Unión Europea, India, Japón y Corea del Sur. Entre sus principales aportes se encuentran la posibilidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), generar empleos, acrecentar la industria local de manera federal, colaborando con la reducción de desigualdades tanto geográficas como de género (Schneider, 2021; IRENA, 2022).

Hipótesis

La hipótesis que guía esta investigación se basa en la premisa de que Argentina presentaría ventajas y oportunidades excepcionales para la radicación de plantas de hidrógeno verde y azul a partir de la generación eólica y de gas con captura de CO₂, con el objetivo de consolidar un *hub* de exportación de este vector energético lo que aportaría al logro de los objetivos 7, 8, 9 y 13 de los ODS, aportando al desarrollo humano en un proceso de transición energética justa.

Argentina es un país con altos niveles de pobreza, desigualdad y desempleo (Bonfiglio et al., 2023), responsable del 0.9% de las emisiones globales de GEI¹, donde aún existen personas que dependen de la leña, el carbón, o los desechos de origen animal para cocinar o calefaccionarse (Maidana, 2017). Sin embargo, en este contexto social, energético y ambiental ha sido pionera en el desarrollo del hidrógeno en la región. En este sentido, dictó una ley que lo consideraba un combustible y comenzó con la producción de hidrógeno verde para autoconsumo en la Patagonia hace ya más de diez años. Actualmente se consumen 328.000 TN/año, de las cuales el 97,7% es producido por la industria para autoconsumo *in situ*, 2% se comercializa y un 0,3% es producido para la generación de energía eléctrica (YTEC, 2020; Schneider, 2021).

Frente al desempeño de los indicadores señalados, el país tiene uno de los mayores potenciales del mundo para el desarrollo de la economía del hidrógeno en todas sus variedades. Desde el hidrógeno gris (que actualmente se produce, pero sin tecnologías de captura de carbono), hasta hidrógenos más limpios como el azul (sobre la base de gas natural) o el verde (sobre la base de energías renovables). A la disponibilidad de recursos naturales, se le suma la del capital humano y una vasta experiencia para desarrollar esta industria prometedora que permitiría una mejora en los niveles de desarrollo humano (Consejo Económico y Social, 2021; Schneider, 2021).

En este contexto en este trabajo de investigación se plantea el siguiente objetivo general.

Objetivo General

Analizar la cadena productiva del hidrógeno bajo en emisiones en Argentina y su potencial contribución/aporte al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del país.

Para alcanzar dicho objetivo general se plantean los objetivos específicos detallados a continuación.

Objetivos Específicos

1. Estudiar la experiencia internacional y regional en lo que respecta a las políticas públicas puestas en funcionamiento para promocionar el

1

[https://www.gba.gob.ar/agroindustria/%C2%BFcual es la posicion de nuestro pais frente esta situacion%3F#:~:text=Argentina%20genera%20el%200.9%25%20de,que%20libera%20a%20la%20atm%C3%B3sfera.](https://www.gba.gob.ar/agroindustria/%C2%BFcual%20es%20la%20posicion%20de%20nuestro%20pais%20frente%20a%20esta%20situacion%3F#:~:text=Argentina%20genera%20el%200.9%25%20de,que%20libera%20a%20la%20atm%C3%B3sfera.)

- hidrógeno bajo en emisiones, poniendo especial énfasis en analizar el caso chileno que es la experiencia más avanzada en el contexto regional.
2. Analizar el contexto institucional en Argentina de promoción del hidrógeno bajo en emisiones poniendo el foco en la nueva ley de hidrogeno bajo en emisiones próximo a enviarse al congreso.
 3. Identificar en Argentina los sitios o los denominados “valles” donde se produce o se podría producir hidrógeno bajo en emisiones a escala comercial. Evaluar los impactos sobre el aparato productivo, el empleo y sobre los ODS.
 4. Identificar posibles oportunidades para la industria local como proveedores de este mercado.
 5. Proponer algunos lineamientos de política a seguir para avanzar en la promoción de esta cadena productiva.

Para abordar el objetivo planteado se propone un marco teórico donde se relacionarán distintos enfoques del desarrollo sostenible con la economía del hidrógeno bajo en emisiones. Lo anterior se desarrollará a partir de un abordaje sistémico y multidimensional que toman estos enfoques. Asimismo, a nivel metodológico esta propuesta de investigación se realizará a través de un análisis cualitativo bajo la realización de diversas entrevistas a referentes claves del sector.

La presente tesis se encuentra estructurada en 6 secciones. En la primera sección se plantea tanto la hipótesis como los objetivos del trabajo de investigación. En la segunda sección se procede a definir el marco teórico que guía la investigación, el cual determina la utilización del marco metodológico descrito en la tercera sección. En la cuarta sección se realiza un análisis pormenorizado del estado de situación en el mundo y en la región, dentro de la cual se destaca el caso de Chile por sus particularidades a ser tenidas en cuenta por el resto de los países que intenten posicionarse como futuros actores de la industria del hidrógeno bajo en emisiones. Luego, en la quinta sección se analiza el caso argentino: en un primer apartado se estudian las oportunidades de la matriz energética argentina para la transición energética justa y su correlato en el logro de los Objetivos del Desarrollo Sostenible; en el segundo apartado se describen las potencialidades y desafíos que enfrentaría la industria local como proveedora de insumos a la cadena productiva del hidrógeno bajo en emisiones; y en el tercer apartado de la sección se culmina con un análisis de las experiencias de producción en los tres valles del hidrógeno y estado actual de las iniciativas allí localizadas. Y en una última sección, la sexta, se resumen las conclusiones y recomendaciones de política que se desprenden de esta tesis.

2. Marco teórico: Hidrógeno bajo en emisiones y desarrollo sostenible. Conceptualización e interacciones.

El término desarrollo sostenible aparece de forma oficial en 1987 en el Informe Brundtland (Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo, 1987) sobre la relación entre medio ambiente y desarrollo. El Desarrollo Sostenible es definido como aquel que “satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades” (Butlin, 1989, pp. 369). El término “apuntaba a un nuevo paradigma de desarrollo a partir de la integración del crecimiento económico, la equidad social y la protección ambiental” (CEPAL, 2013, pp.9).

Luego de este informe, han surgido diversas interpretaciones acerca de qué es lo que debe sostenerse. Algunos autores plantean que deberían ser los niveles de consumo (Redcliff, 1987) mientras que otros sostienen que deberían ser los recursos naturales (Carpenter, 1991). Una tercera visión, propone que la sostenibilidad debería contemplar a todos los recursos: capital humano, capital físico, recursos ambientales y recursos agotables (Bojo, Maler y Unemo, 1990).

Mientras tanto una postura neomarxista del desarrollo sostenible, fuertemente crítica de la teoría neoclásica y con su principal exponente Vandana Shiva, apunta a que la sostenibilidad debe enfocarse en sostener a la naturaleza de forma tal que se respete la integridad de sus procesos, ciclos y ritmos (Shiva, 1988).

Solow (1992) sugiere que el desarrollo sostenible significa que no se debe consumir el capital de la humanidad. El reemplazo de una forma de capital por otro es, en su opinión, aceptable. Por ejemplo, considere la sustitución de todos los árboles en el planeta por un stock de capital igualmente valioso. ¿Debemos considerar esto como un desarrollo sostenible? Un gran número de personas estaría totalmente en desacuerdo con tal opinión, aunque muchos economistas no lo harían (Chichilnisky, 1997). Para la ONU (2012) la macroeconomía como disciplina aún está divorciada de las consideraciones ambientales básicas.

Sin embargo, a pesar de estar en discusión qué es lo que debe sostenerse, es claro que un desarrollo sostenible no puede lograrse sin considerar las decisiones de manera intertemporal de forma que las generaciones futuras no se vean afectadas en la satisfacción de sus necesidades por decisiones previas y ajenas a ellas. Si dicha situación no se verifica, entonces las poblaciones presentarán privaciones y se modificará su grado de inclusión social.

En términos más específicos, el desarrollo sostenible abarca distintas dimensiones tales como la libertad política, el bienestar económico, la equidad social y un medio ambiente sano, además de la conservación de los recursos naturales. Estas dimensiones: política, económica, social y ambiental se encuentran estrechamente vinculadas entre sí en el contexto de un sistema socioeconómico concreto (OLADE/CEPAL/GTZ, 2003).

Muchas de las interpretaciones de desarrollo sostenible coinciden en que, para llegar a ello, las políticas y acciones para lograr crecimiento económico deberán respetar el medio ambiente y además ser socialmente equitativas para alcanzar dicho crecimiento económico (Artaraz, 2002). De acuerdo con el enfoque planteado por CEPAL, las tres dimensiones son indisociables y deben entenderse desde el contexto político en el cual están inmersas. Por lo tanto,

esta cuarta dimensión se vuelve clave en el sentido que facilita a las demás, las enmarca y se ve modificada por ellas. En este último plano se deben dar las alianzas necesarias para lograr el objetivo del desarrollo sostenible.

Según CEPAL (2013) para lograr el cambio estructural y un verdadero desarrollo sostenible no basta con una política social asistencial focalizada si no va acompañada de una política pública de protección social. Esta a su vez debe ser de carácter universal para reducir la vulnerabilidad de la población e interrumpir los mecanismos de transmisión de la exclusión social y la desigualdad. Desafíos emergentes como el cambio climático y la falta de acceso a agua potable, por ejemplo, ejercen nuevas presiones en la salud que recrudecen sus efectos en las poblaciones más vulnerables.

Existe una relación estrecha entre el acceso a fuentes limpias y modernas de energía, como es el caso del hidrógeno bajo en emisiones, y las distintas aristas del desarrollo humano. Además, como expresa Velo García (2005) estas se interrelacionan generando un círculo virtuoso, tal como puede observarse en el siguiente gráfico.

FIGURA N°1. Energías limpias y Desarrollo Humano.



Fuente: Velo García (2005).

Entre los efectos positivos que genera dicho acceso, debe considerarse que facilita la reducción del costo proporcional de los servicios de energía, particularmente para las personas pobres de las zonas rurales que gastan una parte importante de su tiempo y el ingreso disponible en energía. Se estima que los países de la región, fundamentalmente Chile y Argentina se encontrarán entre los países más competitivos en el largo plazo junto con Chile respecto a los costos de producción del hidrógeno bajo en emisiones, lo cual redundará en precios igualmente competitivos. Esto puede liberar recursos financieros y recursos humanos, especialmente de mujeres, para otras actividades o gastos

importantes, como la educación, la compra de más alimentos de mejor calidad y la expansión de actividades generadoras de ingresos (GEA, 2012).

De esta forma, la comprensión del rol clave que cumple la energía en el desarrollo la ha puesto por primera vez en la historia en un lugar central en la agenda de desarrollo mundial (Banco Mundial, 2018).

En efecto, durante la preparación de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS), se planteó la necesidad de incluir el acceso a energía para todos, junto con aspectos de eficiencia, limpieza y renovabilidad (CEPAL, 2013).

Finalmente, esta preocupación fue plasmada en el año 2015 en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Y, entre los 17 ODS, se ha propuesto como séptimo objetivo el garantizar para el año 2030 el “acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”, tal como se muestra en el siguiente gráfico (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2015).

FIGURA N°2. Objetivos del Desarrollo Sostenible.



Fuente: ONU (2015).

Además, las Naciones Unidas han declarado al año 2012 como el Año de la Energía Sostenible para Todos y al período 2014-2024 como la Década de la Energía Sostenible para Todos (Banco Mundial, 2018).

En suma, es visible que actualmente existen a nivel global diversas iniciativas respecto a la energía que persiguen un doble objetivo: demostrar al mundo su importancia y ponerlo en acción respecto a la falta de acceso a fuentes limpias y modernas.

En consecuencia, para CEPAL (2013) “el modelo actual tiene que incorporar valores más ambiciosos: superar la pobreza mediante la búsqueda de mayor igualdad, transitar de las enfermedades de la pobreza a la vida sana, y del acceso básico a satisfactores como el agua, la energía y la vivienda a hábitats y asentamientos humanos de calidad” (pp.105).

El Informe Nacional de Desarrollo Humano correspondiente al año 2017 define al desarrollo sostenible como la “articulación virtuosa entre el crecimiento económico, la inclusión social y la sostenibilidad ambiental” (PNUD, 2017, pp. 15).

A su vez, “los patrones de consumo y producción sostenible y la protección y gestión de los recursos naturales como base del desarrollo económico y social deben considerarse objetivos generales a la vez que requisitos esenciales para el desarrollo sostenible” (CEPAL, 2013: 85).

En cuanto a la relación entre la dimensión económica y la ambiental del desarrollo sostenible debe entenderse que el crecimiento económico es insostenible si no se tienen en cuenta las consideraciones medioambientales, no sólo como un factor restrictivo, sino como un incentivo para aumentar la eficacia y la competitividad, sobre todo en el mercado mundial (Comisión de Comunidades Europeas, 1992).

Asimismo, estas dimensiones del desarrollo se ven afectadas por la desigualdad y la exclusión. Cabe aclarar que esta última no solo genera costos para quien la padece, sino también para la sociedad en su conjunto. En este sentido y atendiendo su impacto sobre las distintas dimensiones puede observarse que ante la falencia en alguna de ellas se genera un vínculo circular de causalidad que las profundiza (Ibáñez Martín y London, 2018).

Respecto a la inclusión cabe destacar que cuanto más pronunciada sea la exclusión que atraviese la sociedad mayor es la probabilidad de que amplios segmentos de la población caigan en trampas de pobreza. Esto, a su vez, constituiría un obstáculo para la expansión de las libertades individuales y la formación de capital social (Fanelli, 2012).

Reducir la desigualdad y los círculos de exclusión son acciones necesarias para lograr un desarrollo sostenible (CEPAL, 2016). La exclusión genera barreras que dificultan el ascenso social, el aumento del bienestar presente y la proyección sobre generaciones futuras.

Así, queda expuesto que no puede pensarse en un desarrollo sostenible sin una mejora en el nivel de inclusión social. Es decir, sus dimensiones se superponen y son dos procesos que deben pensarse de manera conjunta al igual que las políticas abocadas a conseguirlos.

Es en este contexto que las políticas de mitigación en el sector energético como las de desarrollo de la industria del hidrógeno bajo en emisiones y el concepto de Transición Energética cobran vital importancia.

El hidrógeno, bajo condiciones normales de presión y temperatura, existe como gas diatómico (H₂), incoloro, inodoro, insípido y no tóxico. Se encuentra en el 75% de la materia visible del universo. Su poder calorífico, 120 MJ/kg a 141 MJ/kg, es el más alto entre los combustibles comúnmente utilizados. Contiene más energía por unidad de masa que el gas natural o la gasolina. Sin embargo, al ser el elemento más ligero tiene una densidad de energía baja por unidad de volumen. Se puede comprimir, licuar o transformar en combustibles a base de hidrógeno que tienen una mayor densidad energética (Schneider, 2021).

El hidrógeno se puede clasificar según la materia prima que se utiliza para generarlo y, al mismo tiempo, según los efectos que el proceso genera en el medio ambiente (IRENA, 2020).

CUADRO N°1: TIPOS DE HIDRÓGENO PRODUCIDO.

Denominación	Proceso Productivo	Descripción	Disponibilidad	Nivel de Emisiones
Hidrógeno gris	Se obtiene a partir de fuentes de energía fósiles (como gas natural o carbón) generado a partir de la reformación de gas natural	Reacción iterativa a alta presión y temperatura de carbón, oxígeno y vapor de agua	Tecnología madura	Alto
Hidrógeno azul	Reformado de gas natural o reformado de metano.	Proceso de reformado de gas natural con fase de captura y almacenamiento de emisiones.	Tecnología madura	Bajo
Hidrógeno verde	Electrólisis de fuentes renovables	Proceso de electrólisis alimentado exclusivamente de fuentes renovables	Tecnología disponible y en mejora de eficiencia para renovables	Libre de emisiones
	Ciclos termoquímicos	Proceso por el cual se somete agua –a partir de un reactor solar– a altísimas temperaturas (500° / 1000° C) para lograr la separación de sus moléculas en	Tecnología en desarrollo	Libre de emisiones

		hidrógeno y oxígeno.		
	Fotoelectrocatalisis		Tecnología en desarrollo	Libre de emisiones

Fuente: Elaboración en base a Mateo y Suster (2021).

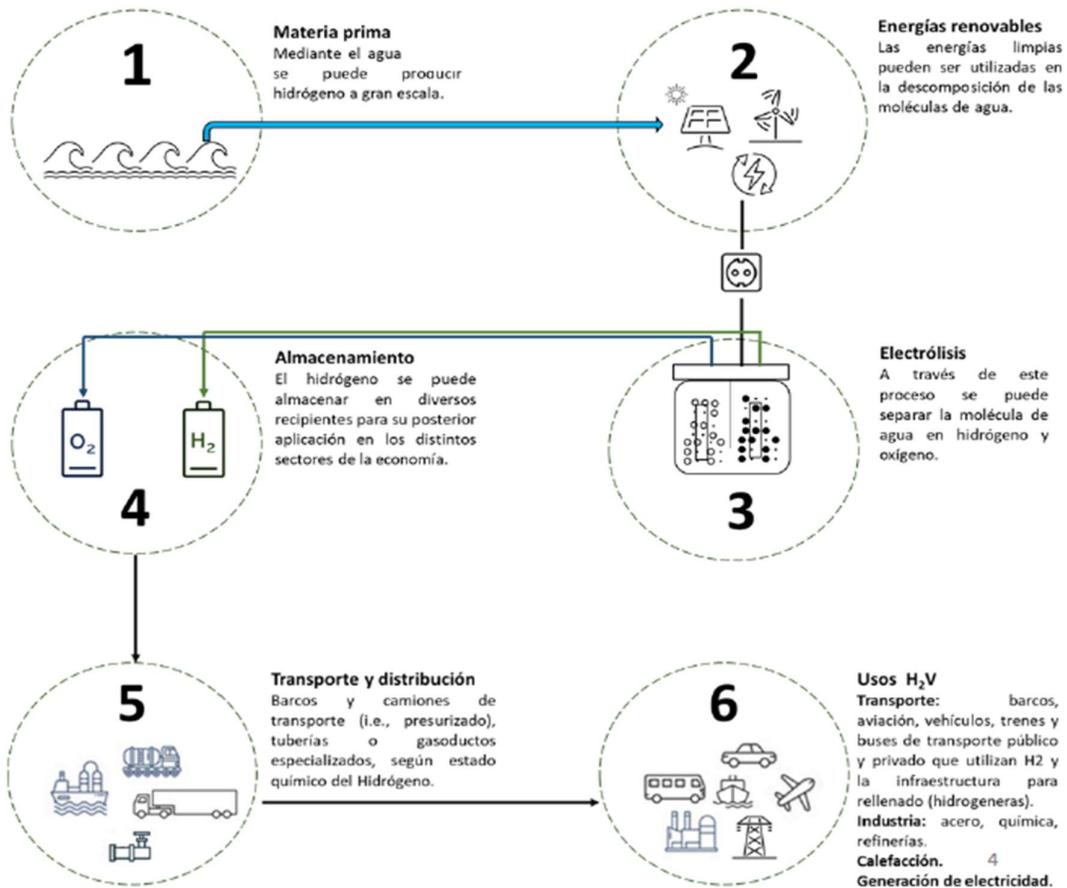
Actualmente, menos del 0,7% de la producción de hidrógeno proviene de suministros verdes o azules producidos en plantas con captura de carbono y bajas emisiones de carbono. Para todo lo demás, se utiliza el gas natural y el carbón: 76% y 23% respectivamente, este último principalmente en China, y solo 2% a partir de la electrólisis (IEA, 2019).

La referencia a los colores, nomenclatura cada vez más utilizada para categorizar al hidrógeno, deriva de las fuentes utilizadas para su producción. Cada uno de estos hidrógenos, tiene una eficiencia energética diferente, que varía de acuerdo con el combustible utilizado y con la tecnología para su producción. La mención a “negro”, “gris” o “marrón” se refiere a la producción de hidrógeno a partir de carbón, gas natural y lignito, respectivamente. El “azul” se utiliza comúnmente para identificar al hidrógeno producido a partir de combustibles fósiles con emisiones de CO₂ mitigadas y reducidas por el uso de métodos de captura, utilización y almacenamiento de carbono (CAC3). El “verde” se aplica al hidrógeno producido a partir de electricidad generada con fuentes limpias o renovables. Como método de producción de este último, aun cuando hoy no se emplea a nivel industrial de manera masiva, la electrólisis del agua es una de las tecnologías utilizada para descomponer el H₂O en oxígeno (O₂) e hidrógeno (H₂) (Schneider, 2021).

El hidrógeno verde tiene el potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, y crear una industria nueva que agrega valor a las economías de los países. Según Mateo y Suster (2021), se perfila como uno de los intermedios energéticos más prometedores del futuro, por ser de fácil almacenamiento y transporte. El mismo permite almacenar energía mediante mecanismos sencillos y liberarla cuando lo requiera un usuario final. El almacenamiento de grandes volúmenes es posible y el impacto del almacenamiento es limitado.

Tal como muestra el siguiente esquema, la cadena de valor del hidrógeno verde comprende todas las actividades asociadas al proceso que va desde su fase inicial como materia prima, pasando por la electrólisis, almacenamiento, transporte, distribución y sus diversos usos. Este recurso energético alternativo puede ayudar a los países a cumplir sus metas de reducción de emisiones, generar empleos e incrementar el PIB. Entre sus mayores limitantes se encuentran el costo de obtención y la infraestructura asociada a los últimos eslabones de la cadena (CEPAL, 2022; Schneider, 2021).

FIGURA N°3. Cadena de valor del hidrógeno verde.



Fuente: CEPAL (2022).

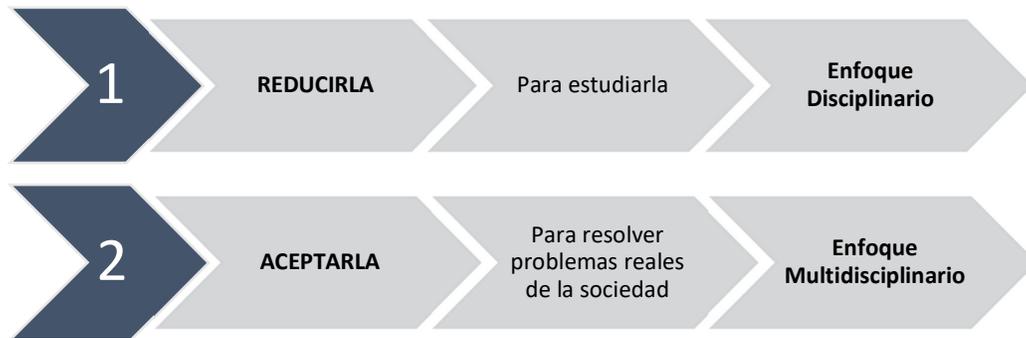
3. Marco metodológico

El estudio del hidrógeno implica una problemática amplia e integral. Tal como se mencionó puede enmarcarse desde una mirada integral e interdisciplinaria como lo son los Objetivos del Desarrollo Sostenible y su correlación en materia energética que es el actual concepto de transición energética justa. En particular, el hidrógeno es un vector energético hoy en discusión en todos los foros de transición energética. El foco está entonces en cómo la economía del hidrógeno podría aportar a una transición energética justa. Sin embargo, lo anterior es un problema complejo.

Así, la problemática del hidrógeno no es solo de índole tecnológico, sino también económico y ambiental. Su realidad, tal como muestra el siguiente esquema, es compleja y exige que al momento de estudiarla se tome una de dos alternativas: o bien se reduce y se estudia el problema acotado desde la visión económica, o bien, se unen disciplinas y se aborda, a fin de obtener soluciones reales para

resolver el problema concreto de la sociedad, desde lo interdisciplinario, es decir: desde las esferas social, económica, ambiental, técnica y legal.

FIGURA N°4. Alternativas para afrontar la complejidad.



Fuente: Elaboración propia.

Desde el punto de partida que se deben continuar mejorando los marcos y teorías para poder comprender la complejidad y no simplemente rechazarla (Ostrom, 2010), y por la naturaleza del objeto de estudio, la segunda alternativa es la seleccionada para la presente investigación y, es desde allí, que la técnica de recolección de información más apropiada para el análisis es la llamada triangulación.

Tal como expresa Mazzucato (2018) problemas como este son “perversos” en el sentido de que son complejos, sistémicos, interconectados y urgentes, que requieren conocimientos desde muchas perspectivas.

Por lo tanto, en términos metodológicos, la presente investigación tiene un enfoque cualitativo, cuyo diseño se caracteriza por ser abierto, flexible y que toma como punto de partida el descubrimiento y la interpretación (Hernández Sampieri, 2010) de los hechos y las distintas variables que se entrelazan de manera compleja para dar lugar a la política pública. Por esta razón, los resultados no pretenden ser generalizados, sino que responden a la realidad del caso bajo análisis.

3.1. Diseño, técnicas y fuentes

El *diseño* del trabajo responde a uno de tipo descriptivo, ya que “buscará especificar propiedades, características y rasgos importantes” (Hernández Sampieri, 2010, p.80), como también de aquellos factores que han influido en la política. Además, tendrá un alcance analítico con el fin de trascender dicha descripción para intentar explicar y comprender el conjunto de hechos y dimensiones complejas que hacen al objeto de estudio.

En cuanto a las *técnicas de recolección* de información se hace uso de la triangulación, definida como la utilización de distintas fuentes, teorías y métodos de recolección que facilita la articulación y validación de datos a través del cruce entre ellos (Denzin, 1989; Hernández Sampieri, 2010; Charres et al, 2018).

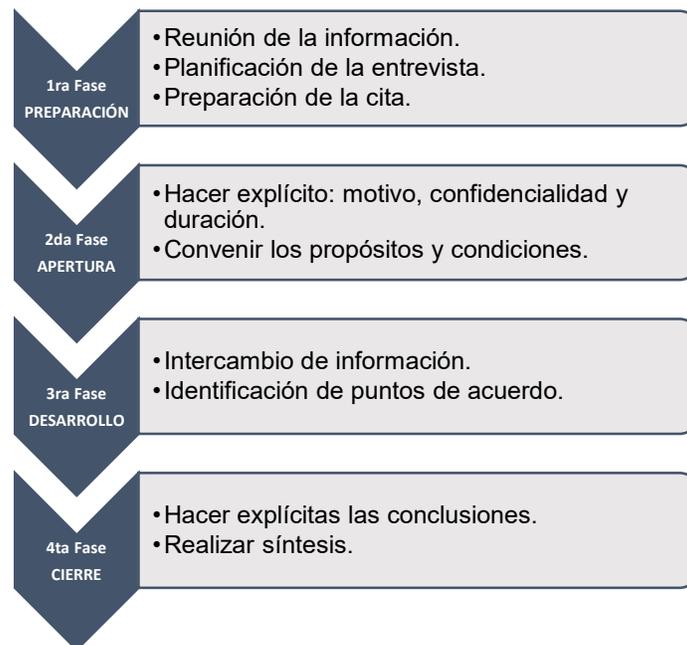
Respecto a los métodos se utilizan las entrevistas semiestructuradas, el análisis de bibliografía actualizada y de artículos de los organismos fundamentales en los diálogos intersectoriales respecto al hidrógeno y su normativa en elaboración.

En esta línea, entre las *fuentes primarias*, las entrevistas semiestructuradas son aquellas que se caracterizan por ser dinámicas, flexibles y no directivas; y se basan en una guía de asuntos o preguntas donde el entrevistador tiene la libertad de introducir preguntas adicionales para precisar conceptos u obtener mayor información sobre los temas deseados (Díaz Bravo et al, 2013; Hernández Sampieri, 2010). Éstas fueron realizadas de la siguiente manera: cuatro entrevistas se desarrollaron de manera directa y presencial y tres de manera virtual a especialistas en la temática y a funcionarios públicos con roles claves en el momento actual de la temática. Para ello se realizaron una serie de preguntas específicas y generales las que permitieron conocer prioridades tanto para los hacedores de política, como para los referentes académicos e investigadores y los potenciales actores dentro de la futura industria del hidrógeno bajo en emisiones en general y su estado actual en la República Argentina en particular. El resultado de las entrevistas permitió construir el entramado de la presente tesis dada la escasez en producciones científicas que analicen el potencial mercado del hidrógeno bajo en emisiones en Argentina.

Es importante señalar que “las entrevistas en las ciencias sociales como metodología de investigación no son otra cosa que “una forma especial de encuentro: una conversación a la que se recurre con el fin de recolectar determinado tipo de informaciones en el marco de una investigación” (Marradi et al, 2007, p. 215).

En cuanto a las fases de las entrevistas, se toman las propuestas por Díaz Bravo et al (2013), expresadas en el siguiente esquema.

FIGURA N°5. Fases de la entrevista.



Fuente: Elaboración propia en base a Díaz Bravo et al (2013).

Por otra parte, en cuanto al análisis de documentos, registros y materiales grupales (Hernández Sampieri, 2010) se recurre a fuentes primarias y secundarias. Respecto a las *secundarias*, se seleccionan documentos oficiales como actas, declaraciones y discursos de funcionarios del nivel provincial y nacional. En cuanto a los materiales audiovisuales se usan diversas páginas web sobre el tema, como las de distintas áreas de gobierno, de la Secretaría de Energía, de la Secretaría de Asuntos Estratégicos, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. Además, se recurre a acuerdos y tratados firmados por Argentina y a archivos públicos del gobierno nacional y provincial. Asimismo, se utilizan documentos y materiales organizacionales como reportes y documentación generada a nivel internacional por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la Agencia Internacional de las Energías Renovables (IRENA) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Se utilizan además manuales, libros, publicaciones académicas, reportes científicos, entre otros. Finalmente se recurre a registros en medios de comunicación.

4. Experiencia internacional y regional: El caso de Chile.

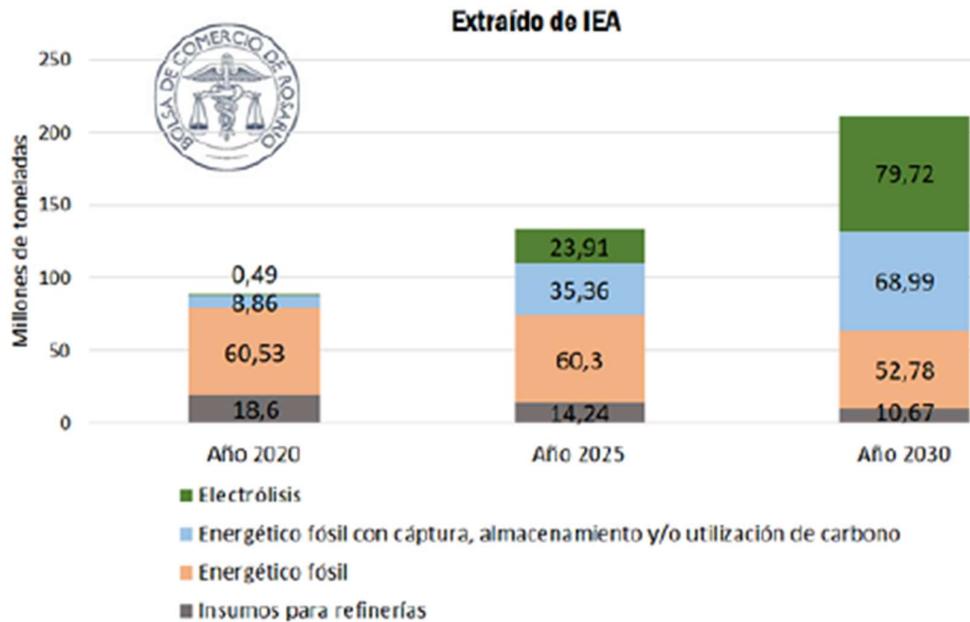
A nivel mundial, los países que impulsan fuertemente la agenda del hidrógeno son Alemania, China y Estados Unidos y en América Latina los mayores avances se registran en Brasil y Chile. En 2019 el mercado mundial de hidrógeno rondó entre los 118 y 136 mil millones de dólares. Mientras, para los próximos años se espera que alcance los 200 mil millones de dólares. Cabe destacar que no son más de diez los países del mundo que lo están produciendo a gran escala (IEA, 2019).

La demanda global del hidrógeno es de aproximadamente 70 millones de toneladas anuales, habiéndose triplicado desde el año 1975 (BID, 2021). Y si bien en la última creció un 28%, crecimiento no tan notable en comparación con otras tecnologías energéticas nuevas, se espera que satisfaga un 15% de las necesidades energéticas mundiales de manera competitiva. Este hidrógeno, dado que se obtiene casi en su totalidad a partir de combustibles fósiles (76% gas natural y 23% de carbón), es responsable por la emisión de alrededor de 830 MtCO₂ / año. Actualmente, de la demanda pura, el 96% se explica por la producción de amoníaco para fertilizantes y refinación de petróleo, mientras que de la demanda en mezclas con otros gases la producción de metanol representó el 29%, la reducción directa en la industria siderúrgica, un 7%, y el resto fue utilizado en otros ámbitos. (Schneider, 2021; IEA, 2019; CEPAL, 2022).

Mientras, en América Latina, su producción y uso se limita a algunos países y los mayores avances se registran como se dijo anteriormente en Brasil y Chile. En la región, así como en la mayor parte del mundo, se utiliza principalmente como materia prima para refinerías y la industria química. Sin embargo, además de los mercados de fertilizantes, refinación y gases industriales y hospitalarios, se pueden desarrollar nuevos mercados de hidrógeno en los segmentos de transporte, generación de electricidad, almacenamiento de energía y procesos industriales. Se observa que mientras cae la demanda de hidrógeno originado por carbón y gas natural sin captura de emisiones (hidrógeno negro y gris), crecen los hidrógenos restantes. El crecimiento más relevante se proyecta para la demanda de hidrógeno verde, que se multiplicará por varias veces. En este

sentido, el escenario de neutralidad de carbono 2050 de la IEA es optimista tal como se muestra en el siguiente gráfico (Schneider, 2021; D'Angelo et al, 2022).

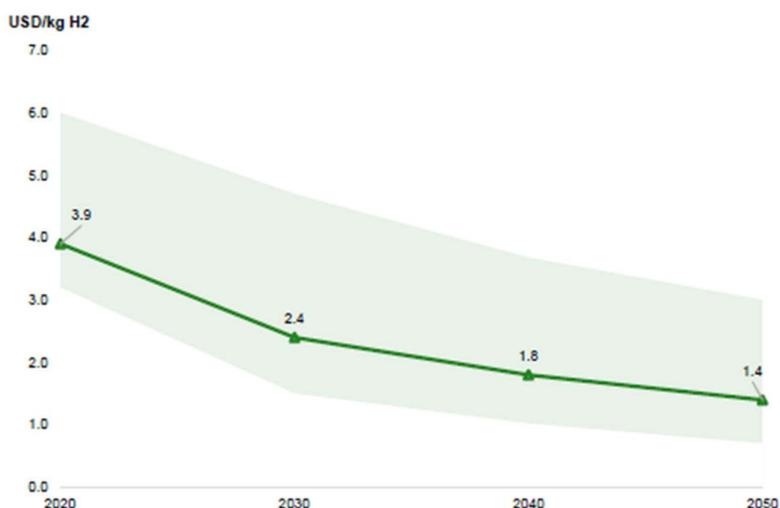
GRÁFICO N°1. Demanda mundial de hidrógeno por tecnología de producción. Proyecciones 2020-2030. Escenario Carbono neutro 2050.



Fuente: D'Angelo et al (2022).

El problema del origen del hidrógeno se relaciona con sus elevados costos de producción, con lo cual las empresas y los gobiernos tienen por meta hacer más viable y masiva la producción del hidrógeno verde. Un informe de la consultora Rethink Energy afirma que el hidrógeno verde permitiría descarbonizar el 25% del consumo energético no renovable, y que se observaría una abrupta disminución en las próximas décadas de los costos de producción pasando de US\$ 3,7/kg a US\$ 1/kg en los Estados Unidos. Mientras para otros países se prevé que ronde el valor de US\$ 1,5/kg, tal como se observa en el siguiente gráfico. Se prevé que dicha caída esté impulsada por la caída en los costos de la energía renovable y mejores curvas de aprendizaje en electrolizadores debido a mayor capacidad e innovación (OCDE, 2022; D'Angelo et al, 2022).

GRÁFICO N°2. Proyección del costo del hidrógeno (2020-2050).



Fuente: OCDE (2022).

Las expectativas para los próximos años proponen que los electrolizadores aumenten sus gigavatios (GW) y alcancen una capacidad global de 15 GW para 2026 y esto reduzca los costos (IRENA, 2020). Además, la expansión esperada del mercado de emisiones de carbono para los sectores industriales y su posible alineación de precios internacionales en virtud del artículo 6 del Acuerdo de París pueden actuar como una palanca clave para cerrar la brecha de costos entre el hidrógeno verde y sus competidores de combustibles fósiles (Natixis, 2021).

Según la OCDE (2022) se espera que la capacidad de producción de hidrógeno alcance los 5.000 GW para 2050, lo que requerirá un total de producción de energía renovable de 21.000 teravatios-hora (TWh) para contribuir a la emisión global neta cero. Esto implica una necesidad de inversión total acumulada de US\$ 11,7 billones en energía renovable, electrolizadores y reconfiguración de tuberías para 2050.

En el mundo, el estado actual de las normativas y estándares existentes aún limita la aceptación del hidrógeno como energético. Algunas regulaciones no son claras o no consideran los nuevos usos que pudiese tener y no permiten la explotación de todos los beneficios que este puede brindar. Las que ya abordan cuestiones técnicas, tales como dónde se puede utilizar el hidrógeno presurizado o licuado, quién puede manipularlo, dónde pueden ir los vehículos de hidrógeno, los regímenes fiscales para la conversión entre vectores de energía, si se puede almacenar CO₂ y cómo, cuánto hidrógeno puede estar presente en las tuberías de gas natural, deben actualizarse para que tenga la oportunidad de desarrollar su potencial (IEA, 2019).

Pese a estas limitaciones, existen en el mundo numerosos proyectos y asociaciones estratégicas para el desarrollo del hidrógeno verde. En el siguiente mapa pueden observarse los 20 proyectos anunciados de H₂V a gran escala más grandes del mundo. Los tres más importantes se ubican en Europa del Este (67GW), Kazajistán (30GW) y Australia (16GW). Y el único que se ubica en el

continente americano es el ubicado en la Patagonia Chilena que prevé contar con 8GW.

MAPA N°1. Los 20 proyectos de hidrógeno verde más grandes del mundo.



- 1 HyDeal Ambition (67GW) Western Europe
- 2 Unnamed (30GW) Kazakhstan
- 3 Western Green Energy Hub (28GW) Australia
- 4 AMAN (16GW)² Mauritania
- 5 Asian Renewable Energy Hub (14GW) ... Australia
- 6 Oman Green Energy Hub (14GW)² Oman
- 7 AquaVentus (10GW) Germany
- 8 NorthH2 (10GW) Netherlands
- 9 H2 Magallanes (8GW) Chile
- 10 Beijing Jingneng (5GW) China
- 11 Project Nour (5GW)² Mauritania
- 12 HyEnergy Zero Carbon Hydrogen (4GW)². Australia
- 13 Pacific solar Hydrogen (3.6GW) Australia
- 14 Green Marlin (3.2GW) Ireland
- 15 H2-Hub Gladstone (3GW) Australia
- 16 Moolawatana Renewable Hydrogen Project (3GW)² - Australia
- 17 Murchison Renewable Hydrogen Project (3GW) - Australia
- 18 Unnamed (3GW) Namibia
- 19 Base One (2GW)² Brazil
- 20 Hellos green Fuels Project (2GW) Saudi Arabia

Fuente: IRENA (2022).

En Europa, como explica D’Angelo et al (2022) el Pacto Verde Europeo plantea llevar al Hidrógeno del 2% al 14% de la matriz energética europea para 2050. Fuertes inversiones en infraestructura del hidrógeno y movilidad sustentable esperan apuntalar la demanda de hidrógeno verde, de cara a la neutralidad de carbono que la Unión Europea se ha comprometido llegar en 2050. En este marco, se dieron importantes anuncios en dicho continente, a saber:

- La compañía Shell firmó un acuerdo con ThyssenKrupp para abastecer de hidrógeno verde al puerto de Rotterdam, desarrollando la instalación de hidrógeno verde más grande del mundo.
- El puerto de Marsella anunció una inversión de 750 millones de euros para abastecer sus instalaciones con hidrógeno verde.

- Airbus está trabajando en desarrollar el primer avión comercial neutro en emisiones de carbono para 2035, que estará íntegramente impulsado con hidrógeno.
- En España, un consorcio de 33 empresas invertirá US\$ 4.400 millones en inversiones e investigación, incorporando capacidad instalada por 2 GW y desarrollando centros de innovación. Esto se suma a los US\$ 1.600 millones aportados por el gobierno español hasta 2030.
- Alemania aprobó un presupuesto de US\$ 1.000 millones para financiar proyectos de hidrógeno verde.
- En el Reino Unido salió a oferta pública la compañía Atome, primera compañía de hidrógeno verde listada en bolsa.

A nivel regional, Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica y México, son países que tienen grandes posibilidades de desarrollar una industria del hidrógeno verde competitiva, de aprovechar y replicar las oportunidades y capacidades ya desarrolladas en otras regiones y ser dinamizadores de este recurso en los demás países. El hidrógeno verde empezó a ser considerado como una alternativa de negocio para lograr un robusto desarrollo sostenible -generando divisas y empleo con menor huella ambiental- y una forma más de reducir gases de efecto invernadero en pos de cumplir los compromisos de carbono neutralidad. Sus ventajas para incursionar en este mercado se centran en sus matrices eléctricas que están en vías de descarbonizarse. Pero para aprovecharlas, deben: formalizar al H2 en el marco político, institucional y legal, incluirlo en las agendas públicas y dar espacio y apoyar al sector privado, construir una agenda regional y aprovechar sinergias para aumentar la competitividad. El actual momento es propicio para que los países definan nuevos modelos de negocios, crear nuevos mercados, y asociarse con países como Alemania, Japón o los Estados Unidos, donde la economía del hidrógeno está más adelantada. Lo anterior permitiría no sólo reducir y aminorar costos, sino, disponer de tecnología de punta, fuentes de financiamiento, mano de obra capacitada y operar en mercados más competitivos. Ya hay iniciativas de este tipo y queda de manifiesto el potencial de la región para seguir avanzando y tornarse un jugador de clase mundial en este tema (Schneider, 2021).

Un análisis del escenario latinoamericano actual deja ver que, si bien no existe producción a escala comercial de hidrógeno verde, algunos países cuentan con sus rutas y estrategias (véase detalle en el siguiente cuadro) y se preparan para abastecer tanto al mercado local como al de exportación. Los principales sectores en los que se utiliza son: transporte y minería (CEPAL, 2022). Dentro de dicho escenario, Schneider (2021) destaca:

- **Chile:** el hidrógeno producido se utiliza principalmente para procesos en refinería (para hidrotratamiento, *hidrocracking* y desulfuración de combustibles), y en menor volumen, en la alimentación y otros procesos especiales. La producción comercial chilena, se basa en la tecnología de reformación de gas metano con vapor. Utilizan como insumo principal el gas natural de red y como insumos secundarios nafta y gas licuado de petróleo. En este país, uno de los ejes de la Ruta Energética es la modernización de mercados energéticos, de donde surge la Estrategia del Hidrógeno que intenta alcanzar un marco regulatorio para fomentar su

producción y demanda e incluirlo como energético para dar potestad al Ministerio de Energía sobre este combustible.

- **México:** la base productiva es el gas natural y en menor escala, el propano. En su mayoría, el hidrógeno se genera vía reformación catalítica de hidrocarburos y, en menor escala, a través de hidrólisis. El uso principal es el sector industrial. Allí la empresa Tarafert (productora de fertilizantes) se unió a la iniciativa “Mexican Green Hydrogen” para producir H2 y amoníaco verde en el país.
- **Costa Rica:** cuenta con un Convenio de Cooperación Técnica no reembolsable el cual busca asesoría técnica de alto nivel para cuantificar los impactos y beneficios del H2 y proponer marcos regulatorios.
- **Brasil y Argentina:** su uso es mayoritariamente industrial y una parte importante es utilizada para la fabricación de amoníaco, componente básico de los fertilizantes agrícolas. En el caso de Brasil, se encuentra enfocado en la construcción de la planta de H2V más grande del mundo en Ceará, y la creación de un HUB de H2V. Argentina, por su parte, ha sido la pionera en instalar la discusión acerca del H2, al crear en 1996 la Asociación Argentina del Hidrógeno y al poseer la única ley que lo regula como combustible en la región (Ley 26.123 de agosto de 2006), pese a que esta última está previsto sea reemplazada por una nueva ley. Por otra parte, la empresa Hychico (Chubut), posee gran trayectoria y es la única planta de H2V operando en América Latina.

CUADRO N°2. Estrategias y planes de hidrógeno verde en la Región.

PAÍS	HOJA DE RUTA O ESTRATEGIA NACIONAL	FECHA DE PUBLICACIÓN
Bolivia	Hoja de ruta planeada	2023
Brasil	Estrategia nacional en desarrollo	2022
Chile	Estrategia nacional publicada	2020
Colombia	Estrategia nacional publicada	2021
Costa Rica	Estrategia nacional en desarrollo	2022
Ecuador	Hoja de ruta planeada	2023
El Salvador	Hoja de ruta planeada	2023
Paraguay	Hoja de ruta publicada	2021
Perú	Hoja de ruta planeada	2023
Uruguay	Hoja de ruta publicada	2022

Fuente: CEPAL (2022).

Además de contar con estrategias y hojas de ruta, los países latinoamericanos cuentan con diversos proyectos en marcha y otros en desarrollo. Como puede

observarse en el siguiente cuadro, los países que se destacan son Chile, Brasil, Colombia y Argentina, como impulsores de la mayor cantidad de proyectos de H2V.

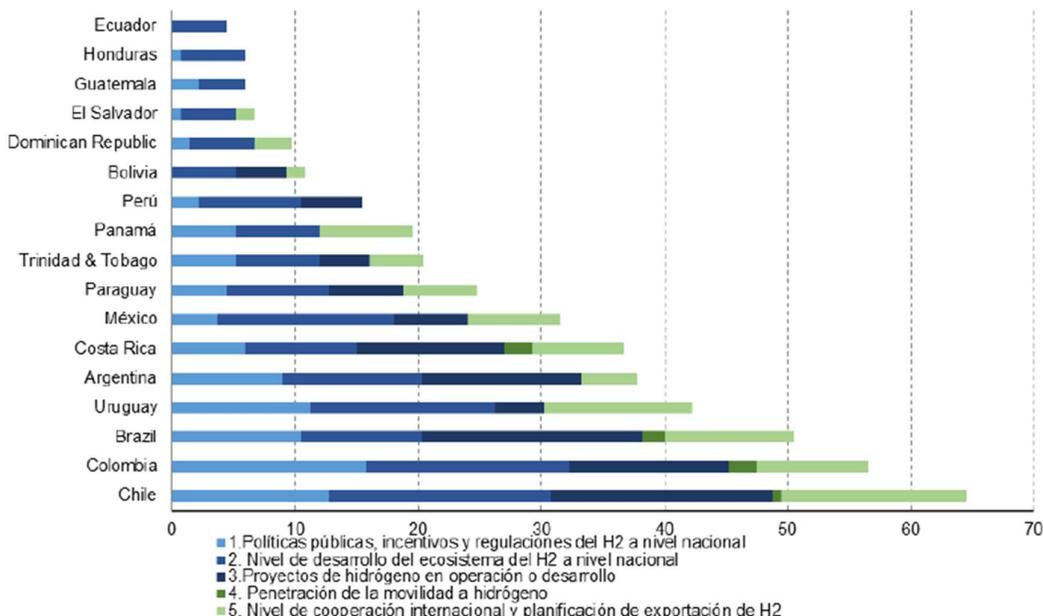
CUADRO N°3. Latinoamérica: proyectos de H2V en operación y en desarrollo.

PAÍS	PROYECTOS EN OPERACIÓN		PROYECTOS EN DESARROLLO
	Nombre del proyecto	Aplicación o usos del proyecto en operación	Número de proyectos en desarrollo (adicionales)
ARGENTINA	HYCHICO, Comodoro Rivadavia	Inyección a redes de gas natural, generación energía eléctrica	6
BRASIL	Fuel Cell Bus Project for Urban Transport	Inyección a red de gas natural, movilidad, generación energía eléctrica	19
	FURNAS/Base Energia Sustentável CESP/Base Energia Sustentável (2020-2012)	Generación energía eléctrica Inyección a red de gas natural, generación de energía eléctrica	
BOLIVIA	N/A	N/A	1
COLOMBIA	Ecopetrol - Piloto Toyota Mirai	Feedstock industrial, movilidad	9
	Proyecto Piloto Promigas	Inyección a red de gas natural	
COSTA RICA	Planta experimental de H2 - Ad Astra	Generación energía eléctrica	1
	Proyecto de movilidad de estación de carga de hidrógeno y bus FC - Ad Astra	Movilidad	
CHILE	Proyecto Las Tórtolas	Movilidad, minería	25
	H2 para grúas horquilla de Walmart	Movilidad	
	Microgrid Cerro Pabellón	Generación energía eléctrica	
MÉXICO	N/A	N/A	4
PARAGUAY	N/A	N/A	4
PERU	Industrial Cachimayo	Feedstock industrial	
URUGUAY	N/A	N/A	2
TOTAL		12	71

Fuente: CEPAL (2022).

Con todo, CEPAL (2022) ha elaborado un ranking de 17 países de América Latina y el Caribe que los ordena según su índice de desarrollo de la industria del hidrógeno verde. El mismo se expresa en un rango de 1 a 100 (de menor a mayor desarrollo respectivamente) y considera en cada país: las políticas públicas, incentivos y regulaciones de H2; el nivel de desarrollo del ecosistema del H2; los proyectos de hidrógeno; la penetración de la movilidad a H2 y el grado de cooperación internacional y exportaciones de H2. El siguiente gráfico muestra el ordenamiento de los países en función a dicho indicador. Como puede observarse, el país más avanzado de la región, como se mostró en distintas aristas analizadas previamente es Chile. Además, otros de los países más avanzados son Colombia, Brasil, Uruguay y Argentina. Mientras que los que muestran el menor desarrollo dentro de la industria son Ecuador, Honduras y Guatemala.

GRÁFICO N°3. Índice de desarrollo de la industria del hidrógeno verde



Fuente: CEPAL (2022).

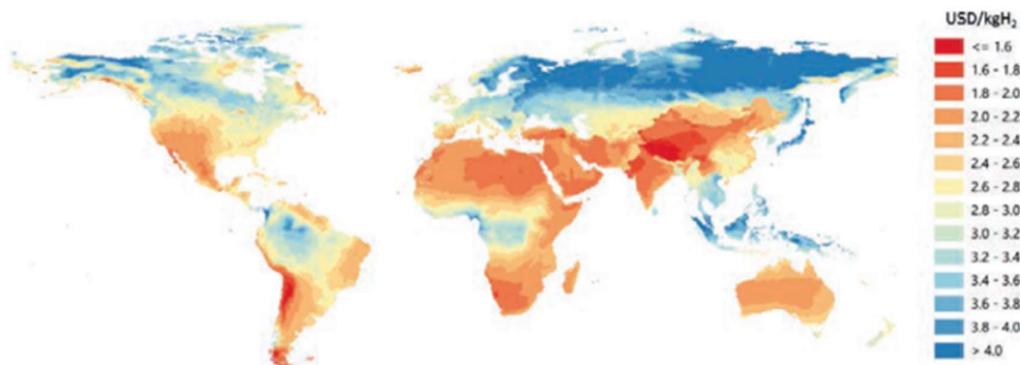
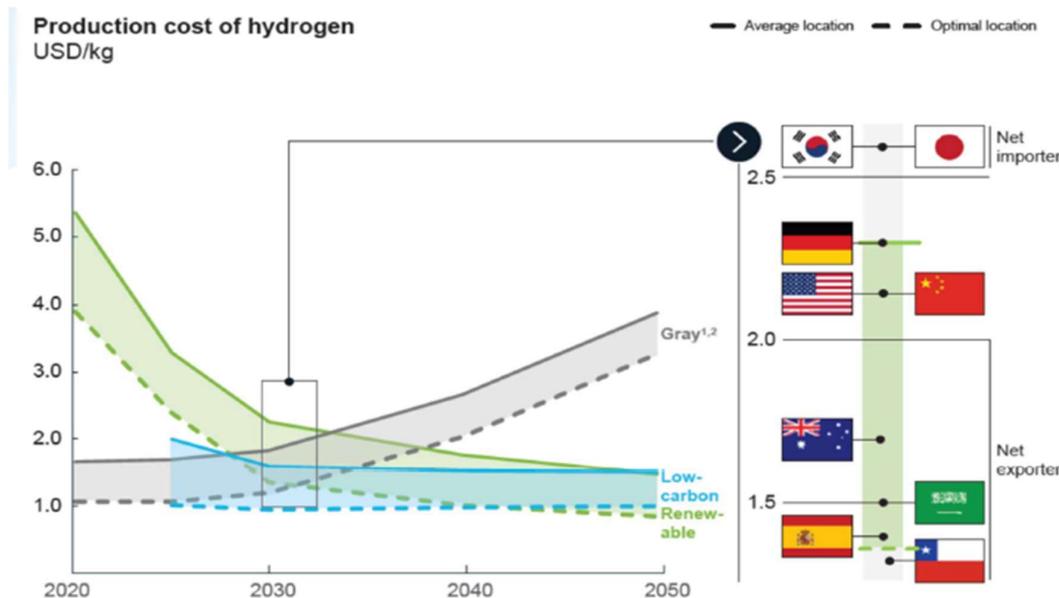
El interés de los distintos países en avanzar en la industria del hidrógeno verde no es casual. En efecto, se espera que en el corto plazo el mismo estará en condiciones de contribuir a una transición energética limpia y justa por sus costos cada vez más competitivos en relación con los combustibles fósiles. Dicha transición con enfoque inclusivo y de derechos y la inversión adecuada deben redundar en mejores estándares de desarrollo urbano, disminución de la desigualdad y mejor acceso a la ciudad para todas las personas. En este sentido, si bien la región cuenta con abundantes recursos naturales, para mejorar su aprovechamiento debe fortalecer la integración eléctrica regional y su planificación energética. Los países que se destacan son Argentina y Chile por su puesta en marcha tanto en institucionalidad, fuentes de demanda, así como proyectos establecidos y en funcionamiento. Pese a contar con el gran desafío de reducir los costos de la electrólisis, muchos de estos países se encuentran explorando modelos de exportación para mercados intra -la existencia de gasoductos permitiría una distribución segura y rápida- y extrarregionales. Todo ello, sumado al gran potencial solar y eólico de la región, permitiría transformar a ésta en un “HUB del H2” a nivel mundial (CEPAL, 2022).

Una de las barreras más importantes para el despegue de la industria del H2V es el costo de producción. Por ejemplo, Schneider (2021) muestra que una planta electrolizadora basada en agua, en 2017 y 2018 requería una inversión de alrededor de 20 a 30 millones de dólares anuales, y las inversiones asociadas (tanques de almacenamiento, infraestructura de reabastecimiento de combustible, tuberías y otros equipos) aumentan aún más la inversión total del proyecto. Pero, dependiendo de la localización, estos costos ya son equiparables a los de producir hidrógeno azul. Esto pasa, por ejemplo, en la Región de Magallanes (Patagonia chilena) donde la energía eólica tiene una capacidad de planta de casi 50%, con un costo de electricidad de 25-30 dólares/MWh, que se espera se reduzca a 10-20 dólares/MWh hacia 2050. El costo actual sería

suficiente para lograr un costo de producción de hidrógeno verde de aproximadamente 2,5 dólares/kg, valor cercano al rango del hidrógeno azul. Pero la estrategia de Chile en materia de hidrógeno verde contempla, que para el 2030, se logren 25 GW por electrólisis, con un costo de producción menor a 1,5 dólares/MWh, y al 2050, 1,2 dólares/MWh monto que sería lejos el menor a escala mundial. Estos valores podrían replicarse en Argentina (IEA, 2019 y Ministerio de Energía de Chile, 2020).

Peña Giménez (2021) proyecta un panorama alentador respecto a la mejora de la competitividad del H2V en los próximos años, lo cual se plasma en el siguiente gráfico. En este sentido, se espera que en las próximas décadas el costo de producción del hidrógeno verde disminuirá drásticamente en países como Chile (que se propone alcanzar el menor valor mundial) y España, los cuales se posicionarían como exportadores netos de h2v. Mientras los países asiáticos se convertirían en importadores netos.

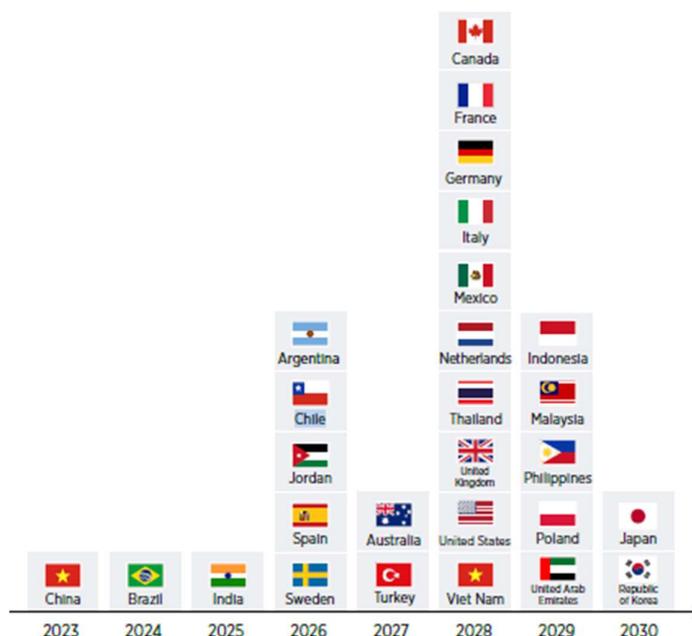
GRÁFICO N°4. Precio del Hidrógeno Verde en el mundo.



Fuente: Peña Giménez (2021).

Puede pensarse también en la comparación de los costos de producción del hidrógeno azul y el verde. En este sentido, también las proyecciones son alentadoras en favor de este último, fundamentalmente en países como Brasil, Argentina y Chile en los próximos años, por su disponibilidad de los recursos naturales necesarios como por la infraestructura con la que cuentan, como puede observarse en la siguiente figura.

GRÁFICO N°5. Países en los que el hidrógeno verde podría llegar a ser más barato que el hidrógeno azul, por año.



Fuente: IRENA (2022).

El hidrógeno ha atraído una atención creciente en América Latina, principalmente debido al alto potencial de energías renovables de la región (IRENA, 2020). Las ventajas naturales para la producción de energía eólica y solar, la disponibilidad de biomasa y las reservas de gas natural hace que nuestra región cuente con las capacidades suficientes para tener una elevada relevancia en el nuevo escenario energético internacional como exportadores de hidrógeno verde. En particular la Argentina cuenta con muy alta potencialidad en términos de disponibilidad de recursos para la producción de los distintos tipos de hidrógeno, considerando de forma combinada las reservas de gas natural no convencional para la producción de hidrógeno azul y el acceso a fuentes renovables de energía para la producción de hidrógeno verde. En igual sentido, Chile ha planteado una estrategia muy relevante para adoptar un posicionamiento muy activo como proveedor de hidrógeno renovable a partir de la producción de energía eólica en la Patagonia y solar en el desierto de Atacama. Brasil, por su parte, también ha señalado su interés en la producción del hidrógeno verde a partir de energía solar y de su alto potencial eólico en el nordeste (Mateo y Suster, 2021).

CUADRO N°4. Configuración geopolítica de los países del mundo en función al comercio de H2V.

Exportadores netos:	Con autoabastecimiento:	Importadores netos:
<ul style="list-style-type: none">• Península Arábiga• Australia• Canadá• Chile• Argentina	<ul style="list-style-type: none">• Estados Unidos• China• India• Brasil	<ul style="list-style-type: none">• Japón• Corea del Sur• Reino Unido• Alemania• Italia• Francia

Fuente: Mateo y Suster (2021).

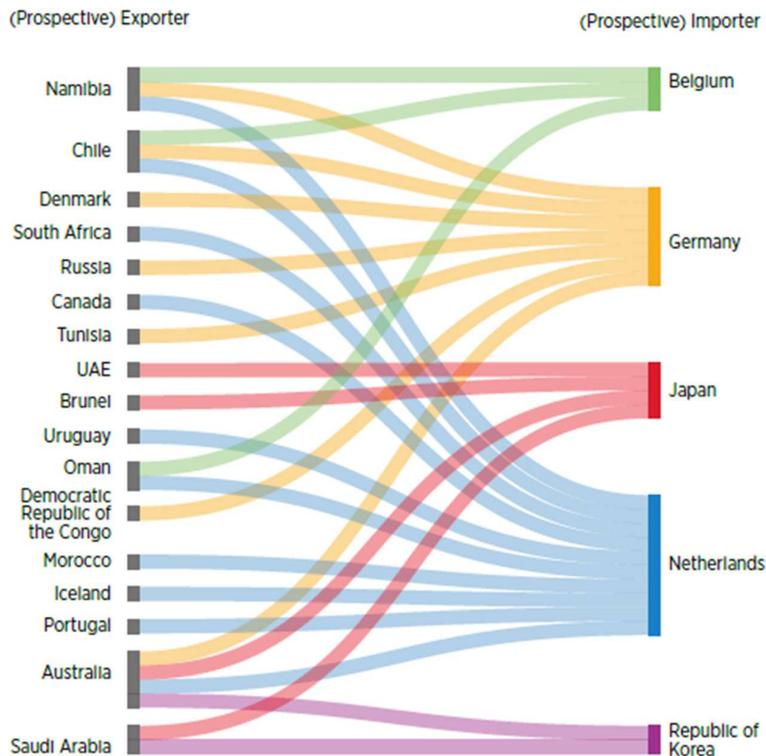
Una forma de prever futuros importadores y exportadores de hidrógeno verde es comparar su potencial de producción con su demanda esperada de hidrógeno para 2050, y el costo de importación. Tres grupos de países pueden ser identificados. El primer grupo incluye países con producción de hidrógeno verde a bajo costo. que podrían convertirse en exportadores. Pueden aprovechar sus mercados renovables para atraer inversiones en producción de hidrógeno verde. Australia, Chile, Argentina, Marruecos y España se encuentran entre esos exportadores netos de hidrógeno. El segundo grupo incluye países que pueden volverse autosuficientes en hidrógeno verde. Estos países tienen suficiente potencial de producción para satisfacer sus propias necesidades sin recurrir a las importaciones. Incluye China y los Estados Unidos. El tercer grupo incluye países que necesitarán importaciones para satisfacer sus necesidades internas. Entre estos países se encuentran Japón, la República de Corea y partes de Europa. Países como Australia o Estados Unidos, actuales exportadores netos de energía mantendrían su papel, aunque en un mercado más competitivo; pero países como Chile o Marruecos, actuales importadores netos de energía, esto representaría una reversión completa de su posición en el mundo en cuanto a mayores posibilidades y desarrollo (IRENA, 2022).

Producir hidrógeno verde requiere una gran inversión mientras la demanda no está plenamente desarrollada, con lo cual requiere trabajar para crear oferta y demanda simultáneamente. Se espera que las inversiones sigan su curva de costos decrecientes tanto en electrolizadores como en los eslabones de distribución y/o almacenamiento. Como vector energético, su potencia se expande en la transición energética desarrollando al máximo su cadena de valor con cooperación e integración entre países (CEPAL, 2022).

Varios países han mencionado explícitamente las posibles relaciones comerciales bilaterales de hidrógeno en sus estrategias nacionales. Con el tiempo, estos acuerdos y visiones emergentes podrían dar paso a nuevas relaciones comerciales energéticas, nuevas rutas de navegación y nuevas rutas comerciales. En términos gráficos, la siguiente figura permite observar los distintos acuerdos entre países anunciados desde fines de 2021. La diplomacia del hidrógeno funciona en dos sentidos, con los exportadores buscando y encontrando clientes potenciales. Si bien en la figura se destacan sólo 3 acuerdos en el caso de Chile, su estrategia nacional de hidrógeno, por ejemplo, menciona que desplegará la “diplomacia del hidrógeno verde” para posicionarse internacionalmente como una fuente de combustibles limpios y portadores de

energía. Señala que aprovechará su participación en plataformas internacionales y sus “relaciones diplomáticas con 171 estados” para desbloquear su potencial de exportación de hidrógeno y atraer inversión extranjera (IRENA, 2022).

FIGURA N°6. Acuerdos comerciales bilaterales y memorandos de entendimiento.



Fuente: IRENA (2022).

Como se mencionó previamente, los países de ALyC cuentan con amplio potencial de energías renovables, así como capacidades tecnológicas y experiencia regulatoria; además sus capacidades (infraestructura, capital humano, tecnologías apropiadas) pueden desplegarse en forma cooperativa con integración y cooperación no sólo entre países, sino que al interior de los mismos con proyectos que aprovechen las sinergias academia- sector público-sector privado. En cuanto a las principales barreras a superar se encuentran la competitividad del hidrógeno verde, el acceso al financiamiento y el establecimiento de marcos regulatorios para el desarrollo de la cadena de valor mediante la identificación de métodos de producción más eficientes, minimizando el riesgo de inversión (CEPAL, 2022).

Dentro de los países latinoamericanos, sin dudas, el caso chileno es un caso modelo por su grado de avance respecto al H2V, fundamentalmente por su normativa, proyectos, proyecciones y competitividad para posicionarse como exportador mundial.

Chile es uno de los países de América Latina que está más avanzado en la temática del H2V en materia de políticas públicas. En este sentido, en 2021 sancionó la ley 21305, la cual materializa la Ruta energética 2018-2022 en cuanto a la modernización de los mercados energéticos, y operativiza la Estrategia del Hidrógeno (Schneider, 2021). Por su parte, tal como plantea CEPAL (2022) dicha Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde presentada por el Ministerio de Energía tiene tres objetivos principales, a saber:

1. Tener 5GW de capacidad de electrólisis en desarrollo para 2025.
2. Producir el hidrógeno verde más barato del mundo en 2030.
3. Estar entre los tres mayores exportadores de hidrógeno del mundo en 2040.

La Estrategia contempla tres etapas: la primera enfocada en el consumo doméstico a gran escala, la segunda en ampliar el uso del H2V en el transporte local y en el inicio de su exportación, y la tercera en la ampliación del mercado de exportaciones (Schneider, 2021).

Entre las principales ventajas del país se encuentran la disponibilidad de recursos naturales (vientos y radiación) lo cual incide favorablemente en los costos de producción, lo cual le permitiría alcanzar el segundo objetivo de la Estrategia.

Entre los principales proyectos en desarrollo se encuentran:

- Proyecto Selkman que a partir de hidrógeno verde obtendrá amoníaco para exportar por barco a Corea, EEUU y Alemania.
- Iniciativa HyEx que consiste en una alianza estratégica para desarrollar amoníaco verde.
- Alianza entre Aker Clean Hydrogen y Mainstream Renewable Power para producir H2 y amoníaco verde.

En la búsqueda de alcanzar sus objetivos, el país también cuenta con una incubadora de negocios de H2V, la cual busca apoyar proyectos tempranos y competitivos para tecnologías de uso final del hidrógeno, incluyendo el transporte, la industria, la generación de energía y la logística (CEPAL, 2022). Se estima que el país podría estar exportando hidrógeno verde y derivados por valor de USD 30.000 millones para 2030 (Mander, 2020).

La utilización actual del hidrógeno en Chile se enfoca en la industria química y la refinación. Posee el potencial para convertirse en exportador de hidrógeno y amoníaco verde, y para descarbonizar la industria minera, química y el sector del transporte (Schneider, 2021).

Por su condición de vector energético, el hidrógeno representa la oportunidad para que Chile pueda almacenar y exportar electricidad basada en energías renovables a bajo costo. La posibilidad de abastecer industrias distantes le permitiría satisfacer una demanda global de industrias ávidas de energía limpia, que incluiría países que importan energía, así como también a proveedores de electricidad renovable, productores de gas industrial, empresas de servicios públicos de electricidad y gas, y fabricantes de automóviles (Torres y García, 2022).

La Corporación de Fomento de la Producción (Corfo), agencia estatal de promoción de inversiones de Chile, hizo una convocatoria pública para presentar proyectos de H2V. Se adjudicaron seis proyectos, que representan inversiones por mil millones de dólares y antes de 2025 todos deberán entrar en funcionamiento (D'Angelo et al, 2022).

La Agencia Internacional de Energía planteó que, por las favorables condiciones naturales para producción de energías renovables, Chile podría producir el hidrógeno verde más competitivo del planeta y a gran escala. *ClimateScope* 2021, posicionó a Chile en la quinta posición entre los países emergentes y en el número 26 en el ranking global. En términos de inversiones para el desarrollo de energías limpias durante el año 2020, Chile figura entre los quince países que dan cuenta de un 88% de la inversión global, con US\$5.000 millones en energía eólica y solar (Torres y García, 2022).

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

García Bernal (2021), por otra parte, señala que al año 2050, Chile podría proveer parte significativa del hidrógeno verde del mundo, es decir, 50% del mercado de Japón, y de Corea del Sur, y el 20% del mercado chino, requiriendo una producción de 25 Mt al año, equivalente al 5% de la demanda global de hidrógeno y 1% de la demanda de energía global. Esto representaría más de 30 billones UDS de ingresos al año. La figura 1 da cuenta de los costos de transportar hidrógeno líquido en el puerto de destino, dando cuenta de la oportunidad de exportación de Chile a Asia (Torres y García, 2022).

Chile tiene a su favor, la estabilidad política y financiera, los muchos tratados de libre comercio firmados con diferentes países y con los principales consumidores y la disponibilidad de infraestructura portuaria y gasoductos, producto de su condición de importador de combustibles fósiles y de gases. Esta condición hace que disponga de un amplio conocimiento para manejar diferentes recursos energéticos en general incluyendo los gases de alta presión. Así, si se analizan los habilitantes para la implementación de una economía del H2V, como lo muestra el siguiente cuadro, comparado con el resto de los países latinoamericanos, se encuentra entre los de mejores condiciones. Fundamentalmente en cuanto a la institucionalidad, compromiso con la carbono-neutralidad, la infraestructura de transporte, las características de su matriz energética y su factor de planta. Este último le permitirían producir el H2V a un nivel muy competitivo, aún frente a los mayores costos de transporte debidos a la localización del país. Entre sus habilitantes con menor desempeño se encuentran la distancia a los centros de consumo y la infraestructura de producción (Schneider, 2021).

CUADRO N°4. Condición actual con relación a los habitantes para implementación de una economía del H2 verde.

Indicadores	Argentina				Brasil				Costa Rica				Chile				México			
	B	M	M-A	A	B	M	M-A	A	B	M	M-A	A	B	M	M-A	A	B	M	M-A	A
Institucionalidad	1				1							4				4	1			
Leyes/normativa		2			1				1					2			1			
HD+D	1						3				3			2			1			
Compromiso con carbononeutralidad	1				1	1						4				4	1			
Matriz eléctrica limpia	1							4				4		2			1			
Energías renovables no convencionales en matriz eléctrica		2				2			1						3			2		
Factor de planta promedio				4			3			2					3			2		
Mercado interno		2						4	1					2					3	
Infraestructura de producción		2			1				1				1				1			
Infraestructura de transporte (ductos, puertos)			3				3			2						4			3	
Poca distancia centros nacionales de consumo	1							4			3		1						3	
Poca distancia centros internacionales de consumo	1				2					2			1							4
Total	6	8	3	4	4	5	9	12	4	6	6	12	3	8	6	12	6	4	9	4
<i>A: Alto = 4; M-A: Medio-alto = 3; M: Medio = 2; B: Bajo = 1</i>																				

Fuente: Schneider, 2021.

Chile posee varios proyectos para producir H2V para la fabricación de explosivos, electromovilidad en minería e industria forestal, y producción de amoníaco para exportación en Antofagasta, norte del país (Balbi, 2023). Pero, deberá superar algunos obstáculos: mejorar las normas que regulan el hidrógeno en toda su cadena para impulsar proyectos; limpiar aún más su matriz eléctrica basada en combustibles fósiles; y generar mercados regionales mediante alianzas con los países limítrofes para sortear la lejanía a los principales mercados compradores (Schneider, 2021).

El territorio chileno presenta excelentes condiciones para la generación de energía renovable de fuente eólica y solar, y tiene una política exterior de marcada apertura comercial y promoción de inversiones externas. Tal como se mencionara previamente, CORFO anunció la adjudicación para seis proyectos de hidrógeno verde, con una capacidad combinada de electrólisis de 388 MW y mayormente destinadas a aplicaciones a nivel domésticos en línea con la estrategia nacional. Los inversionistas están considerando tres tecnologías de electrolizadores: membrana de electrolito polimérico, alcalina y de óxido sólido. Por cada gigavatio de capacidad de producción de electrolizadores, se crearían unos 100 puestos de trabajo y se utilizarían alrededor de 20.000m² de terreno.

La creación de capacidad de producción local (que ayudaría a reducir los costos de logística y el riesgo de cadena de suministro) se considera vital para que Chile mantenga su ventaja competitiva y apoye el desarrollo industrial local². En lo que refiere a proyectos a gran escala, el Proyecto Magallanes, cuya construcción iniciaría en 2025, involucra inversiones por más de USD 15.000 millones para la instalación de 8 GW de electrólisis y 10 GW de energía eólica, con una producción proyectada de al menos 1 millón de toneladas de hidrógeno verde en 2027. De acuerdo con el Ministerio de Energía de Chile, la región de Magallanes podría concentrar el 13% de la producción mundial de hidrógeno verde en 2040 (Ministerio de Economía de la Nación, 2023).

Un escenario en el que un 8% del uso energético final en el mundo corresponda a hidrógeno verde en 2050 equivale a alrededor de 400 millones de toneladas anuales. Para producirlas, se necesitarían al menos 5.000GW de capacidad de electrolizadores. Con lo cual se torna imprescindible contar con capacidad local de producción de electrolizadores, que además implica “la estimulación de las capacidades de I+D+i de empresas, emprendedores y universidades chilenas, lo que permite crear oportunidades adicionales de inversión, competencias laborales y una sofisticación de la matriz productiva” tal como expresa Kulkas³. Todo esto, luego de realizar un sondeo de empresas interesadas en fabricar y/o ensamblar electrolizadores, sus componentes y sistemas auxiliares en el país, motivó a que CORFO tomara la iniciativa de subsidiar proyectos relacionados con la fabricación de electrolizadores para mediados de 2023 al cual se presentaron nueve propuestas (tres chilenas y seis extranjeras). En el mes de julio de 2023, por su parte, el Gobierno chileno, presentó a los integrantes del Comité Estratégico, área que se encargará de la comunicación de las futuras directrices del país en hidrógeno⁴.

5. Análisis del caso argentino: oportunidades y desafíos para la transición energética justa y el desarrollo humano.

En este apartado se analizarán las oportunidades que se presentan para Argentina en el campo de la promoción de las políticas de hidrógeno bajo en emisiones. Estas oportunidades se analizarán vinculando los Objetivos de Desarrollo Sostenible para una transición energética justa en el marco de las políticas de promoción del hidrógeno en Argentina. Asimismo, se examinará la normativa vigente que regularía el mercado del hidrógeno en Argentina y los desafíos que enfrentaría esta industria en el futuro.

El resultado de las entrevistas realizadas permitió construir el entramado de la tesis. Las mismas permitieron construir una visión del futuro mercado de hidrógeno bajo en emisiones a escala nacional. De las mismas se desprende que el mercado del hidrógeno en el país es un mercado en construcción,

² <https://www.bnamericas.com/es/noticias/licitacion-chilena-de-produccion-de-electrolizadores-atrae-nueve-expresiones-de-interes>

³ <https://www.bnamericas.com/es/noticias/plan-de-produccion-de-electrolizadores-en-chile-podria-traer-doble-beneficio>

⁴ <https://www.economista.com.mx/empresas/Chile-busca-desarrollar-cadena-de-valor-del-hidrogeno-verde-20230717-0060.html>

hipotético, a futuro. En la actualidad, se están construyendo alianzas, capacidades y redes de trabajo para pensar en un mercado hacia dentro de 10 años. El desafío es que mientras se están evaluando los consensos alrededor de esta industria no se pierda de vista alinear las discusiones con los ODS, ya que este vector energético puede ser una oportunidad para la generación de divisas, empleo verde, reducción de desigualdades, encadenamientos productivos locales o regionales y la descarbonización de la matriz productiva, desde la lógica de la gobernanza y la co-construcción. Es importante remarcar que algunas de las entrevistas realizadas fueron a referentes claves que en la actualidad están construyendo la normativa que regulará al sector y en otros casos a referentes que tienen proyectos estratégicos privados en este mercado potencial.

Una transición energética es un cambio estructural en el sistema de provisión y utilización de la energía (Carrizo et al., 2016), una transformación fundamental, multidimensional y a largo plazo del sector energético en un contexto tecno-institucional específico que incluye y afecta una amplia gama de tecnologías, estructuras organizativas e institucionales (Kern & Markard, 2016).

El cambio climático, además de ser una amenaza global, es un problema de desigualdad social. Se trata de una crisis impulsada por el proceso de desarrollo económico de las naciones de mayores ingresos, pero cuyos costos recaen mayoritariamente sobre los países más pobres, obstaculizando sus tardíos procesos de desarrollo. A su vez, este mecanismo se replica al interior de cada país dado que los mayores impactos medioambientales afectan a los sectores históricamente más vulnerables. En este marco, la transición energética es una de las tareas a abordar para dar respuesta a la problemática medioambiental de nuestra casa común (Secretaría de Energía, 2021).

La transición energética, motorizada por la demanda de acción climática, debe ser justa, asequible y sostenible. Debe tener simultáneamente consistencia social, macroeconómica, fiscal, financiera y de balanza de pagos. La actual transición consiste en evolucionar del paradigma fósil hacia otro paradigma donde prevalecen políticas de promoción de oferta y demanda de energía. IRENA destaca tres aspectos fundamentales de la actual transición: expansión de las energías renovables, promoción de la eficiencia energética y electrificación (Secretaría de Energía, 2021).

La transición justa es una hoja de ruta hacia un desarrollo sostenible, bajo en emisiones y resiliente, centrado en las personas. Es el sendero en el cual existe una reconciliación de las necesidades materiales de los sectores más pobres y necesitados de la población con la necesidad de alcanzar los objetivos de mitigación del cambio climático (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina, 2022; Jacob y Steckel, 2016). La misma implica que se puedan cumplir las funciones socioeconómicas deseadas a través de medios descarbonizados y renovables de producción y consumo de energía, salvaguardando la justicia social, la equidad y el bienestar (García- García et al, 2020).

Así las políticas que persigan este objetivo permitirán incluir a la población tradicionalmente excluida, favorecer los efectos derrame de la dimensión energética en el resto de las dimensiones relevantes de los procesos de inclusión

social, un mejor comportamiento de la dimensión ambiental y su correlación con la salud (Guzowski et al, 2021).

El Consejo Mundial de Energía define la sostenibilidad energética en base a tres dimensiones: seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad medioambiental (WEC, 2017). Cuando se piensa en los desafíos de la transición en Argentina, el trilema se convierte en un cuatrilema, en el cual intervienen cuatro dimensiones que pueden reportar objetivos contradictorios o tensiones entre sí: a las mencionadas se le incorpora el desarrollo tecno- industrial.

En el contexto nacional, la primera dimensión implica el autoabastecimiento y la inversión en infraestructura renovable. La segunda dimensión incluye no sólo el acceso y la asequibilidad, sino también la competitividad de la economía y la inclusión social. La tercera dimensión, destaca a la descarbonización en el marco de la mitigación del cambio climático. Finalmente, la cuarta dimensión es el desarrollo tecno-industrial, entendido como la consolidación, ampliación y/o creación de capacidades tecnológicas e industriales vinculadas a las energías renovables. Así, la transición energética se vuelve una oportunidad para fomentar el crecimiento económico, las industrias verdes y la generación de empleo con equidad (Secretaría de Energía de la Nación, 2021).

La región presenta un buen desempeño en cuanto a sustentabilidad ambiental, aunque presenta desafíos relacionados con la dependencia de la hidroenergía, la poca diversificación de las fuentes energéticas, la desigualdad en la distribución del ingreso y la utilización limitada de infraestructura de red (WEC, 2019).

En el país se destaca el “Plan de Transición Energética Argentina 2030”, el cual plantea como pilares: energías renovables, eficiencia, energía nuclear, gas e hidrógeno. El éxito parcial o total de la transición energética en Argentina depende de la resolución conjunta de las cuatro dimensiones que necesariamente requiere una política de planificación de largo plazo para superar las tensiones o dilemas entre cada una de ellas (Secretaría de Energía, 2021).

FIGURA N°7. Plan de Transición Energética Argentina



Fuente: Zabaloy et al (2023).

En general, América del Sur presenta una alta exposición y vulnerabilidad a los impactos del cambio climático. Esta situación es amplificada por la desigualdad,

pobreza, crecimiento y alta densidad poblacional, deforestación con consecuente pérdida de biodiversidad, degradación de suelos y alta dependencia de las economías a recursos naturales para la producción de commodities (IPCC, AR6). En Argentina, los impactos y riesgos cambian según la región. En general, se espera un aumento en la temperatura media, con estrés hídrico en las zonas norte y oeste, mayores precipitaciones e inundaciones en el NEA, retroceso de caudales en la cuenca del plata y afectación de puntos costeros.

Para que el sendero de descarbonización de la matriz energética argentina resulte virtuoso y sostenible en el tiempo, debe basarse en las capacidades tecnológicas y productivas del país, considerando sus posibilidades macroeconómicas, sus recursos energéticos y su contexto social, promoviendo la participación activa de las provincias y los actores locales en el proceso. Lo cual permitirá un desarrollo integral a través del fortalecimiento de capacidades, la reconversión laboral y la creación de nuevos empleos decentes. Se parte de una extensa trayectoria vinculada a tecnologías asociadas a energías bajas en emisiones de carbono, abundancia de fuentes energéticas y capacidades tecnológicas, científicas y productivas con un gran potencial de desarrollarse. Con el trabajo como ordenador social y con estrategias de inclusión transversales se contribuirá a la reducción de la pobreza, el hambre y las restricciones estructurales al desarrollo socioeconómico del país. De manera simultánea, será desarrollada una matriz energética inclusiva, dinámica, estable, federal, soberana y sostenible que asegure la disponibilidad de energía y la confiabilidad del sistema (Subsecretaría de Planeamiento Energético, 2022).

FIGURA N°8. Objetivos de la Transición Energética Justa.



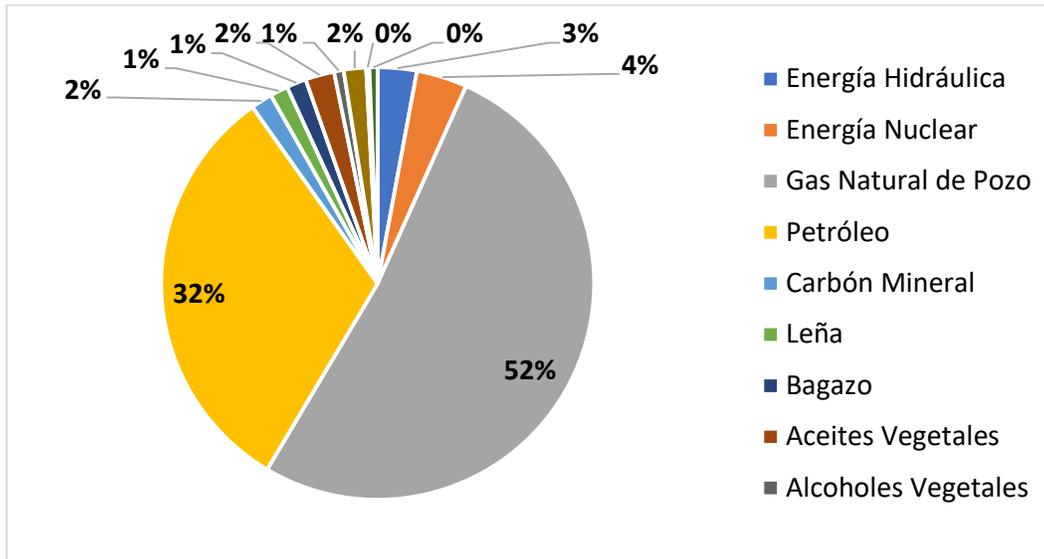
Fuente: Subsecretaría de Planeamiento Energético (2022).

Si bien el cuadro precedente enumera los distintos objetivos de la transición energética, los mismos pueden sintetizarse en su objetivo final, que consiste en que la misma aborde los problemas sociales, productivos y energéticos que

condicionan estructuralmente la calidad de vida de la población (Zabaloy et al, 2023).

La matriz de energía primaria de Argentina presenta las siguientes características:

GRÁFICO N°6. OFERTA DE ENERGÍA PRIMARIA ARGENTINA. AÑO 2021.

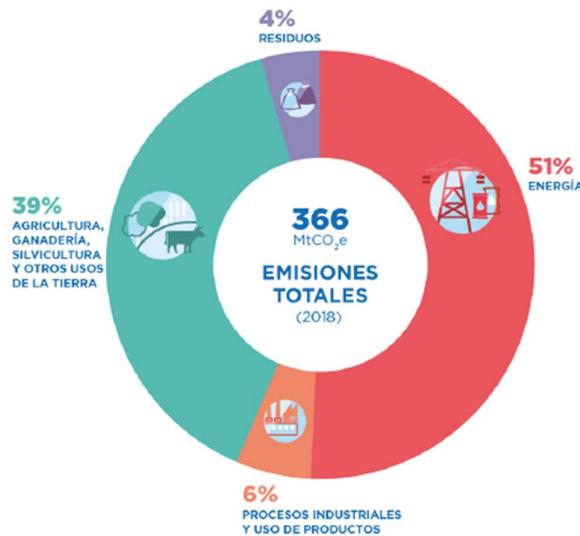


Fuente: Elaboración propia en base a datos Secretaría de Energía.

Como se puede observar, Argentina presenta grandes desafíos aún en torno al objetivo de mejorar su performance ambiental, pues esta composición deja de manifiesto que el sector energético juega un rol fundamental en la emisión de Gases Efecto Invernadero (GEI). Los mismos son los responsables del cambio climático (Zilio, 2016). Entre ellos se encuentran el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y otros gases, como los clorofluorocarbonos (CFC), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el óxido nitroso (N₂O) y el hexafluoruro de azufre (SF₆), entre los más importantes (MAyDS, 2017).

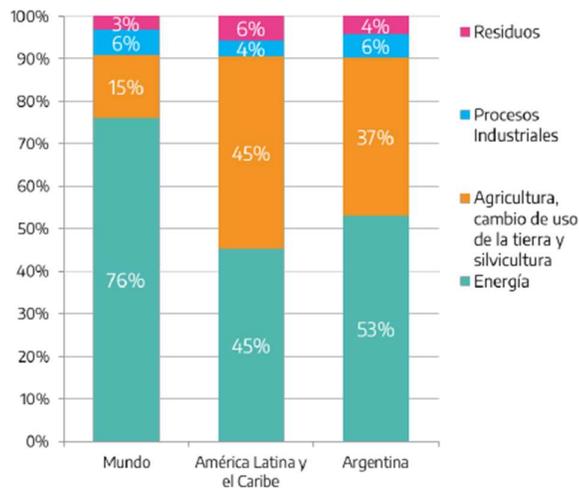
En tal sentido, en Argentina el uso de energía está altamente relacionado con el crecimiento de las emisiones de GEI, por el amplio uso de fuentes no renovables en la generación de energía. Específicamente, como puede apreciarse en los siguientes gráficos, si bien no alcanza a los valores promedios del resto del mundo, más del 50% de las emisiones argentinas de GEI (366 Mt CO₂ eq) proviene del sector energético.

GRÁFICO N°7. Distribución sectorial de las Emisiones GEI del año 2018.



Fuente: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (2021).

GRÁFICO N°8. Estructura de las Emisiones GEI.



Las **emisiones energéticas** representan el **53,1% del total nacional**. Su peso es menor que **el promedio mundial** y se asemeja más al promedio latinoamericano, donde la proporción del sector agricultura, cambio de uso de la tierra y silvicultura es mayor.]

Fuente: Subsecretaría de Planeamiento Energético (2022).

Es decir, que tal como expresa Zilio (2016) existe la posibilidad de mejorar el desempeño ambiental si se alcanza un porcentaje mayor de fuentes renovables en la matriz energética, contribuyendo así al desarrollo sostenible. Aquí reside la importancia de impulsar la Transición Energética mediante el desarrollo de la industria del hidrógeno bajo en emisiones en el país. En consecuencia, el sistema energético y las políticas de promoción de este tipo de energías tienen un papel crítico que desempeñar para lograr la sostenibilidad global (GEA, 2012).

A lo largo de las últimas décadas, Argentina ha suscrito distintos compromisos mundiales en línea con una Transición Energética. De ellos, uno de los más significativos fue la adopción del Acuerdo de París en 2015. Mediante el cual el país se compromete a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero,

teniendo en cuenta el objetivo de mantener el aumento de la temperatura media global muy por debajo de los 2 °C respecto de los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los impactos negativos del cambio climático. El objetivo de la estrategia a largo plazo es confirmar el compromiso de acción climática global y presentar una visión que pueda conducir a lograr emisiones de gases de efecto invernadero netas cero en la segunda mitad del siglo a través de una transición socialmente justa de manera sostenible (Secretaría de Energía, 2021).

En este contexto, la incorporación de fuentes de energía como el hidrógeno bajo en emisiones constituye una gran oportunidad para reducir las emisiones de GEI en el sector energético argentino, máxime si se tiene en cuenta que el país cuenta con el acervo natural necesario en el mediano y largo plazo (Zilio, 2016).

En este sentido, la Transición Energética Justa, aunque aún insuficiente en cuanto a sus resultados respecto a las metas propuestas desde las políticas públicas y adhesión a convenios internacionales, ha sido creciente en los últimos años.

En este punto, existe cierto consenso entre los especialistas, que por las características con las que cuenta Argentina como lo es la disponibilidad del gas, la experiencia en la producción del mismo y la infraestructura con la que ya se cuenta, una buena opción en el corto plazo a modo de transición hacia el desarrollo en el largo plazo de la industria del hidrógeno verde podría ser el hidrógeno azul para abastecer la demanda interna. Esto permitiría desarrollar todo el potencial a la hora de incluir el hidrógeno verde en la búsqueda de una transición que posibilite mayores niveles de desarrollo humano para la Argentina.

El Programa Naciones Unidas para el Desarrollo define al Desarrollo Humano como “un proceso encaminado a ampliar las oportunidades de las personas, en la medida en que estas adquieren más capacidades y tienen mayores posibilidades de utilizarlas” (PNUD, 2015: 2). Sus principios básicos son la equidad, eficiencia, participación y empoderamiento y la sostenibilidad. Esta sostenibilidad no sólo desde lo ambiental sino también en otros planos como el financiero, con la premisa central de no comprometer los recursos de las generaciones futuras.

El Informe Nacional de Desarrollo Humano correspondiente al año 2017 define al desarrollo sostenible como la “articulación virtuosa entre el crecimiento económico, la inclusión social y la sostenibilidad ambiental” (PNUD, 2017, pp. 15).

Muchas de las interpretaciones de desarrollo sostenible coinciden en que, para llegar a ello, las políticas y acciones para lograr el crecimiento económico deberán respetar el medio ambiente y además ser socialmente equitativas (Artaraz, 2002). Es decir, el crecimiento económico es insostenible si no se tienen en cuenta las consideraciones medioambientales, no sólo como un factor restrictivo, sino como un incentivo para aumentar la eficacia y la competitividad, sobre todo en el mercado mundial (Comisión de Comunidades Europeas, 1992).

Tal como expresa Zilio (2016) existe la posibilidad de mejorar el desempeño ambiental si se alcanza un porcentaje mayor de fuentes renovables en la matriz energética, contribuyendo así al desarrollo sostenible.

En el país se vienen desarrollando distintas políticas y estrategias en este sentido. En la actualidad dentro del Plan Argentina Productiva 2030, su segunda misión consiste en: impulsar una transición ambiental justa que permita avanzar hacia la descarbonización necesaria para mitigar el cambio climático y reducir la presión ambiental de las actividades productivas e incidir favorablemente sobre el desarrollo económico, productivo y tecnológico nacional. Esta propone, además, que la transición sea justa mediante la generación de nuevos empleos registrados y la reducción de las desigualdades. Tiene un doble desafío: la crisis ambiental y el desarrollo productivo (Ministerio de Economía de la Nación, 2023).

Por último, el hidrógeno bajo en emisiones cumpliría un rol clave en el Desarrollo Sostenible y más específicamente en la consecución de diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible: en cuanto a la mitigación del cambio climático, la menor presión sobre la naturaleza, la justicia social y la sostenibilidad de la producción, el crecimiento económico local, el desarrollo de las industrias verdes, el empleo y la equidad de género.

Argentina, así como Brasil, tiene una experiencia precoz con el hidrógeno. Sin embargo, a lo largo del tiempo, y aunque el país haya dictado la que sería la única ley que regula este gas y tener operativa una planta de H₂ verde en América Latina, desde hace más de 10 años, hasta la actualidad, ha avanzado poco en definir una institucionalidad o un marco legal que sostenga el desarrollo de este vector energético. Aún no ha presentado una propuesta que indique sus reales intenciones con un modelo de desarrollo descarbonizado, aunque el gobierno ha manifestado que eso sería alcanzable al 2050. Actualmente se tiene una producción y consumo de H₂ gris, de 400.000 TON/año, el cual no se comercializa, sino que lo producen las empresas hidrocarburíferas y lo utilizan principalmente en las industrias petroquímica (85%), química (8%) y refinación (7%). Por ejemplo, la empresa YPF, produce hidrógeno «gris» y «azul» (a gas natural y mediante procedimientos no renovables pero bajos en carbono, respectivamente), los consume in situ como parte de sus operaciones de hidrocarburos y constituyen el 36% de la producción total de Argentina (Bril Mascarenhas et al., 2021; MEGSA, 2023; Schneider, 2021).

Tal como señala MEGSA (2023) el país presenta, sin duda, algunas ventajas claras para la producción del H₂:

- Disponibilidad de tierras (para parques de sol y vientos).
- Factor de utilización de los más altos del mundo (energía renovable barata): 36% en Caucharí (Jujuy) y Olacapato (Salta); en parque eólico Manantiales Behr (Chubut) el factor de utilización promedio anual es del 60%.
- Gran experiencia en la producción de amoníaco para fertilizantes y en el manejo de gases comprimidos de alta presión.
- Disponibilidad de agua (agua de mar desalinizada en todo caso). Desalinización es una industria adicional que permitiría crear más fuentes de trabajo.
- Disponibilidad de una importante malla de gasoductos interna y que alcanza países limítrofes.
- Capacidad industrial existente.

- Litoral marítimo sumado a infraestructura de puertos. Por ejemplo, Bahía Blanca es el único puerto de América Latina que tiene instalaciones para exportar amoníaco gris, que más adelante busca exportar amoníaco y fertilizantes verdes; y el resto de los puertos podrían acondicionarse también para ello.
- Posibilidad de obtención de permisos: No sería tan engorrosa como en otros países. Por ejemplo, Estados Unidos da muchos créditos fiscales pero para obtener una autorización de la Agencia de Protección Ambiental se puede estar años tramitándola. Esto podría agilizarse con todos los cuidados correspondientes. Lo anterior podría ser una de las primeras medidas de promoción que se le puede ofrecer como incentivo al inversor.
- Debido a los menores costos de transporte, las ventajas competitivas son aún mayores en la exportación de combustibles sintéticos para el transporte marítimo y la aviación y para productos químicos como el amoníaco y el metanol. De acuerdo a la UE, Argentina presenta los precios más convenientes en un análisis de costo de la energía almacenada en productos con hidrógeno (PtX) producidos en Alemania o importados de otros países.

Su competidor más directo es Chile, por lo que es dable suponer que desarrollen actividades conjuntas y cooperen en el desarrollo del sector. Pero, para transformarse en un actor importante en el tema de H2 verde, Argentina debe avanzar en subsanar algunos aspectos: compromiso y continuidad política, garantías como proveedor y necesidad de recursos financieros (Schneider, 2021).

Si se analizan la cantidad de proyectos vigentes en Argentina suman aproximadamente 80GW de energía renovable y 50GW de electrólisis. Concretamente, los proyectos existen, lo que aún se requiere es que llegue la demanda de estos proyectos, desde Europa, Japón o Corea por ejemplo, que al tener superficies más pequeñas tendrán que salir a buscar al mundo. Cabe señalar lo indicado por el puerto de Rotterdam (que es una de las entradas a Europa): no ha llegado aún cargamento de H2V de Argentina ni de ningún país, es decir, la todavía inexistente demanda no se limita solo a Argentina sino que es a nivel mundial. Sin embargo, todo se encamina a que esto ocurra.

De acuerdo con Hychico⁵, el hidrógeno allí generado es de alta pureza y esto lo hace especialmente apto para su uso en Celdas de Combustible (Hychico, 2021). La empresa calcula que en Argentina haría falta invertir 12 mil millones de dólares entre parques eólicos, plantas de producción de hidrógeno y plantas de licuefacción para producir 430 mil toneladas anuales de hidrógeno, que es lo que se estima que demandarán los países más desarrollados en los próximos 10 años. Así, considerando que el precio del hidrógeno es de 5 dólares por kilo, al país le ingresarían 1,5 mil millones por el concepto de exportaciones. Pero según expertos, el éxito del país en el ámbito del hidrógeno dependerá de los costos de generación y de producción y logística de almacenamiento y transporte, que a su vez se relacionan casi por completo con la estabilidad económica y la confianza que genere como proveedor.

⁵ <https://hychico.com.ar/eng/index.php>

En 2006, se publicó la Ley 26.123 que buscaba, sin hacer referencia al hidrógeno verde, “promover la investigación, el desarrollo, la producción y el uso del hidrógeno como combustible y vector energético, generado mediante el uso de energía primaria y regula el aprovechamiento de su utilización en la matriz energética”. La misma caducó a fines de 2021 por falta de reglamentación, nunca llegó a ejecutarse. Promovía al H₂ pese a que no se hablaba de las bajas emisiones ni de sustentabilidad. Tampoco consideraba a los derivados, que hoy se reconocen como una de las oportunidades de negocio posibles en Argentina (MEGSA, 2023; Schneider, 2021).

En 2014, se presentó el Plan Nacional del Hidrógeno. Con un presupuesto de 42 millones de dólares y un plazo de ejecución de 16 años -el final de su implementación está previsto para 2030-, contemplaba la creación del Centro Nacional del Hidrógeno bajo la órbita de la Secretaría de Energía, como un centro de información que permitiera coordinar los esfuerzos de las universidades, los institutos tecnológicos, y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). No se ha podido encontrar información relacionada con la operativización del Plan. Pero pareciera que no entró en vigor. De acuerdo con lo publicado por Bnamericas, el potencial de exportación del hidrógeno verde de Argentina podría superar los 100 mil millones de dólares, según cálculos de la generadora eléctrica francesa Engie. Asimismo, se estima que podrían desarrollarse negocios por cerca de 10 mil millones de dólares, para atender el mercado interno, en especial, en sectores como la minería, siderurgia, movilidad y petroquímica. El potencial de producción de H₂ verde del país puede superar el billón métrico al año (CAMMESA, 2020).

La actual capacidad de generación eléctrica limpia de Argentina debería alcanzar el 20% de la matriz total para 2025 con el fin de cumplir con la Ley 27.191, de renovables y esta proporción se considera como suficiente para impulsar la industria local del hidrógeno en una primera etapa, focalizada en el transporte público. Entre los años 2002 y enero de 2021, la potencia instalada total nacional, casi se duplicó, creciendo desde cerca de 24 mil MW a los actuales 42 mil MW. De estos, según fuente, 25,3 mil son térmicas, 10,8 mil hídricas, 4,1 mil, renovables (2,7 mil eólicos, 759, solares, 510 hídricos, 57 biogás y 54 biomasa) y 1,7 mil son nucleares. La potencia instalada de fuentes renovables representaba el 10% del total (CAMMESA, 2021). Entre 2016 y 2019, el gobierno adjudicó tarifas en licitaciones para 6,5 gigavatios de capacidad de energía renovable y contribuyó a hacer de la energía eólica y solar las fuentes no subvencionadas más económicas del país. Cuando estos proyectos estén en pleno funcionamiento, la energía renovable proporcionará el 18% del suministro eléctrico total de Argentina.

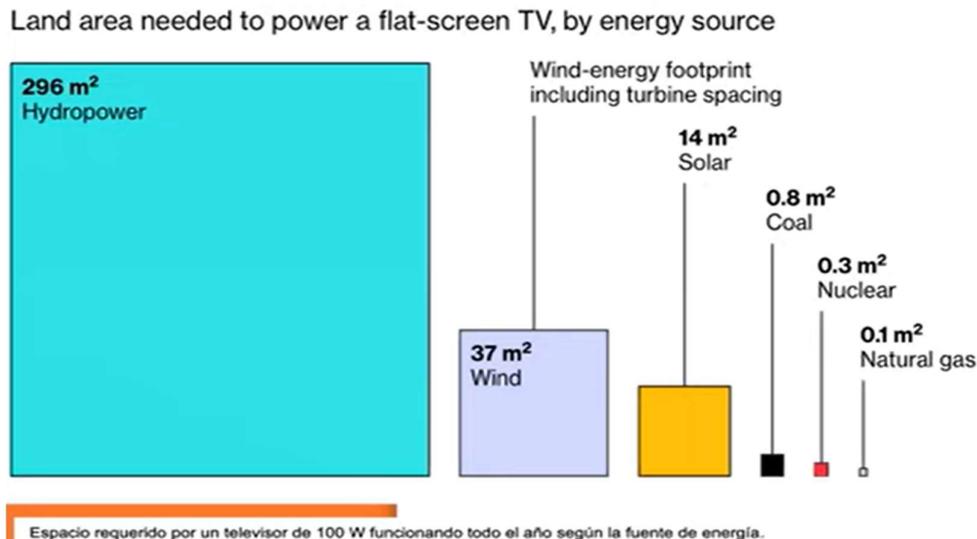
Dado el nuevo interés del país respecto al hidrógeno, el gobierno encargó a Y-TEC que lidere el desarrollo de una plataforma (Plataforma H₂Argentina) que impulse el trabajo colaborativo entre empresas que permita innovar y promover un sector con proyección futura clave. Así, Y-TEC, una empresa de investigaciones tecnológicas controlada por la petrolera estatal YPF (51%) y el consejo nacional de investigaciones Conicet (49%)- lanzaron el Consorcio H₂ar, que trabajará en los próximos dos años en el estudio de escenarios para la producción, transporte y exportación de hidrógeno renovable, así como la evaluación de oportunidades de aplicación específicas en campos de la movilidad, la industria, la red de gas natural y la energía eléctrica. El Consorcio

se define como un espacio de trabajo colaborativo entre empresas que actúen o estén interesadas en participar en la cadena de valor del hidrógeno, desde la producción hasta la aplicación (Schneider, 2021).

Como se mencionó anteriormente, en la búsqueda de una transición energética justa, los países avanzan desde distintas políticas públicas hacia el fomento del hidrógeno. Dicha transición puede ser el ordenador del programa de desarrollo exportador e industrial de Argentina. El hidrógeno de bajas emisiones presenta una gran oportunidad para el país en cuanto a aplicaciones industriales y fertilizantes. Uno de los puntos señalados como deficiencia para que esto se concrete es la falta de normativa que incentive a los potenciales inversores. Cabe aclarar que el marco normativo es necesario, pero no suficiente, para el desarrollo de la cadena productiva del H2V.

Es importante señalar que el hidrógeno ocupa el tercer lugar entre las medidas de mitigación a adoptar por la Unión Europea, como complemento de la electrificación directa a partir de fuentes renovables y de la eficiencia energética. Los países de la UE no tienen espacio suficiente para generar toda la electricidad que consumen de fuentes renovables y libres de carbono, que debería ser 8 veces superior para afrontar sus requerimientos, por el motivo de ocupación de superficie que se describe en el siguiente gráfico. Se prevé que el H2V requerido provenga de la importación de regiones donde las condiciones para la producción de H2V sean óptimas. Dentro del plan REPowerEU, la UE se propone importar de países asociados 10 millones de toneladas de H2V. Esta necesidad europea implica una oportunidad para Argentina. Es importante señalar que el 17 de Julio de 2023 se ha firmado un Memorándum de entendimiento, el cual consiste en un acuerdo de cooperación en materia energética entre la UE y Argentina. El mismo habilita a que cualquier país europeo pueda desarrollar los mecanismos de cooperación con Argentina, ver en qué proyectos se está trabajando y colaborar. Asimismo permite a inversores la posibilidad de conseguir financiamiento para proyectos piloto.

GRÁFICO N°9. Densidades de energía: las energías renovables necesitan más espacio



Fuente: MEGSA (2023).

Dentro de los instrumentos de promoción que pueden utilizar los países se encuentran las subastas. Un ejemplo a tener en cuenta es el Programa H2 Global, el cual es un Programa Europeo pero financiado hasta el momento por Alemania y Países Bajos. Es un modelo para salir mediante subastas a comprar derivados de H2V. En este caso se harán tres subastas. Ha empezado con amoníaco y metanol verdes. En él se detallan las especificaciones de calidad de qué es lo que van a comprar. Otorgan contratos de compra a 10 años, los cuales según los especialistas resultan insuficientes para los inversores, debería ser de más largo plazo. Sin embargo, varios han presentado proyectos: por ejemplo, YPF para amoníaco verde. Este tipo de subastas se organiza a través de una compañía intermediaria (HintCo) que actúa como sujeto de derecho privado, que administra el modelo de subasta y otorga contratos para ambos lados. Compra al mundo a precios elevados por diez años y vende al mercado interno europeo mediante subasta con contratos a corto plazo (HSA). Si se considera que la desfosilización sea cada vez más exigente, los compradores querrán comprar cada vez a mayores precios por ese H2V. Este instrumento tiene críticas, pero actualmente es lo máximo que hay a nivel concreto y con fondos asignados. En cuanto al rol de la intermediaria consiste en aportar la diferencia (a modo de subsidio) entre el menor precio que paga el mercado local y el mayor precio que requieren los consorcios que hacen proyectos de PtX. La idea es incentivar al sector privado para que comience a comprar, que surjan precios actualmente inexistentes y se desarrollen los primeros contratos tipos y especificaciones, entre otras.

Actualmente, distintos avances en cuanto a normativa dejan de entrever el creciente interés en cuanto al desarrollo de la cadena del H2. En este sentido se pueden destacar tres pilares regulatorios, a saber:

- La Secretaría de Asuntos Estratégicos (SAE) está trabajando en la elaboración de la **Estrategia Nacional** de H2 mediante un mecanismo participativo en el que se convoca en una Mesa Intersectorial para encontrar consensos y avanzar hacia donde se quiere ir. En estos meses debería publicarse. Todos los países comenzaron a hacer sus Estrategias Nacionales: pioneros fueron Japón y Australia, Europa en 2020. En LATAM, Chile por ejemplo o Uruguay (que la llama Hoja de Ruta) se centran en el H2V ya que no tienen recursos hidrocarburíferos ni energía nuclear. Colombia, en cambio, se centra en el H2 de bajas emisiones descartando la posibilidad de H2 azul, por su tradición gasífera, por lo que es una estrategia amplia. Por su parte, la que se encuentra en elaboración en Argentina es multicolor.
- El **Proyecto de Ley de Promoción del Hidrógeno**. Si bien se abordará en forma específica su análisis, una de sus contradicciones por venir de versiones anteriores es que encarga la realización de la Estrategia Nacional a otro organismo, desconociendo que su realización ya se encuentra avanzada.
- La **Evaluación Ambiental Estratégica (EAE)**. Esto se aprueba jurisdiccionalmente. Se puede hacer una EAE tipo lo que facilitaría la aprobación de las evaluaciones ambientales particulares de los proyectos que vienen detrás. El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

(MAyDS) se encuentra realizando una EAE de un proyecto tipo de producción de derivados del H₂ a partir de energía eólica en la Patagonia.

Existen también otros elementos presentes actualmente en Argentina, entre los que se destacan:

- El Consorcio H₂Ar (liderado por Y-Tec).
- CEARE financiado por ONU realizó un proyecto de gas natural hidrogenado para grandes usuarios.
- Misión europea de H₂V en Argentina.
- Consorcio impulsado desde Alemania sobre PtX hub.

Los especialistas señalan que, si es que existe una oportunidad de hacer inversiones millonarias para industrializar, debe ser apalancándose en el mercado internacional para luego destinar un volumen menor al mercado interno. Es decir, que no existe demanda interna suficiente que justifique los costos de la tecnología e instalación asociada a la producción de amoníaco verde y fertilizantes verdes.

La Estrategia, aún no presentada, tiene como metas preliminares a 2030: al menos 3 nodos productivos distribuidos entre Bahía Blanca y el litoral patagónico, con alta interacción de las zonas portuarias; y a 2050: al menos 2 nuevos nodos productivos (NOA y Cuyo) y nuevos nodos en la Patagonia (MEGSA, 2023).

En mayo de 2023, el gobierno argentino envió al congreso un proyecto de ley para promover la producción nacional de hidrógeno que ha recibido críticas en relación a los siguientes ítems: a) el porcentaje de integración nacional que se les reclama a los proyectos, b) el plazo del régimen de promoción, c) la exigencia de aportar un porcentaje de la inversión a un futuro fondo de afectación específica, d) la multiplicidad de organismos involucrados en la regulación y el riesgo de sesgar los incentivos hacia alguna de las variantes del hidrógeno. Para alcanzar los beneficios que otorgaría el régimen de promoción, las plantas de producción de hidrógeno verde, incluyendo equipos electrolizadores y sus parques de generación eléctrica de fuentes renovables, deben cumplir con un 35% de contenido nacional. Este requisito se encuentra vigente desde la entrada en vigor de la ley y hasta el quinto año inclusive. Informantes claves consultados manifiestan que este es un requisito ambicioso que podría transformarse en una barrera para la creación de un ecosistema del hidrógeno en Argentina. Plantean como alternativa definir como componente nacional la inversión en obras vinculadas a los proyectos como puertos y plantas de cemento (EconoJournal, 2023).

El tema de contenido nacional es de los más cuestionados del proyecto con lo cual merece un análisis más profundo. En este sentido, como se mencionó los potenciales inversores dudan que esto pueda cumplirse, debido a la tecnología necesaria. Destacan que deben importar materiales para hacer la planta de generación de energía eléctrica renovable dedicada a ese proyecto de H₂V. Algo que merece la pena aclarar es que el H₂ que busca importar Europa para que sea sustentable, debe ser mínimamente 95% renovable. Esto implica que no se podría utilizar electricidad de la red, por provenir del gas natural, es decir, por ser una red fósil. Así, no sería la electrólisis pura del requisito de renovabilidad. Pese

a ello, algunos ven esto como una oportunidad para realizar, si bien son más costosos, parques eólicos o solares off-grid (es decir, dedicados, distribuidos). Lo cual tiene ventajas: por un lado, el cumplimiento del 98-99% de renovable de la electricidad obtenida y, por otro, que no utiliza las redes ya que están cerca del lugar de producción del H2. Esto se torna importante: no sólo hay que pensar en importar los electrolizadores, que aún no se producen a escala comercial localmente, y el resto de componentes necesarios, sino también lo necesario para montar los mencionados parques (por ejemplo, las palas de los molinos en el caso del parque eólico). Entonces surge el interrogante si estos porcentajes de contenido nacional no son demasiado elevados. Según los informantes clave consultados debería mínimamente darse la discusión, aportar evidencia, evaluarlo.

Adicionalmente, el 10% del monto de los porcentajes excedentes al mínimo de componente nacional pueden tomarse a cuenta del pago de Impuesto a las Ganancias. Es esperable que este beneficio difícilmente pueda ser aprovechado por los inversores debido a las limitaciones mencionadas arriba para cumplir con el contenido local.

Por otro lado, el proyecto exige a las iniciativas que estén en cualquier etapa de la cadena que realicen actividades de investigación y desarrollo en el territorio nacional. Esos proyectos se presentan ante la Secretaría de Energía para que los evalúe y otorgue el Certificado de inclusión al régimen. Éste está condicionado al avance de obras comprometidas, fuentes de energía, materias primas utilizadas, reducción de emisiones, entre otras.

El artículo 16 del proyecto le encarga al Fondo Nacional de Desarrollo Productivo (FONDEP) la realización de las acciones necesarias para constituir un Fondo de Afectación Específica destinado a financiar proyectos de fabricantes de equipamiento de la cadena de valor del hidrógeno, así como proveedores de bienes y servicios de alto contenido tecnológico. En el artículo 17 se afirma que los beneficiarios del régimen de promoción deben aportar al fondo el 0,5% del monto total de la inversión declarada al momento de inscribirse al régimen. Los potenciales beneficiarios del régimen sostienen que además de no quedar en claro el funcionamiento del fondo, ese porcentaje afecta la rentabilidad y competitividad de los proyectos para competir internacionalmente. Desde otra visión se plantea que, de existir dicho fondo, su destino debería ser financiar pilotos en vez de a los propios proveedores.

Asimismo, el proyecto de ley establece distintas autoridades para reglar los temas que se encuentran bajo su órbita: la Secretaría de Energía, como Autoridad de Aplicación, la Secretaría de Industria y Desarrollo Productivo – (INTI), la Agencia Nacional de Hidrógeno (AgenHidro) y el Consejo Federal del Hidrógeno. Fuentes empresariales sostienen que esta red de organismos es en extremo compleja, y que todos ellos enfrentan un camino de largo aprendizaje para el desarrollo de la industria. Concretamente esta multiplicidad de instituciones participantes conlleva a que más allá que la autoridad de aplicación sea la Secretaría de Energía, la misma dependerá de los tiempos de otros organismos descentralizados para ciertos permisos y certificaciones. Experiencias anteriores como el RENOVAR no ha tenido un muy buen resultado en este sentido. Así, es esperable un cuello de botella en el proceso de certificar las instalaciones renovables: la Secretaría de Energía dependerá, por ejemplo, de los tiempos del INTI o de AFIP. Con todo, se atenta contra la simplificación

de los permisos, y dichas burocracias pueden constituir una barrera para el avance de esta tecnología en el corto y mediano plazo.

Cabe señalar el esquema de beneficios planteado por el proyecto de ley. En este sentido existen tres puntos clave, a saber:

- La **estabilidad fiscal**: Mantenimiento de la carga tributaria prevista al momento de la aprobación del proyecto. Si existieran reducciones se aplicarían, no así los incrementos. Se garantiza por 30 años desde el Certificado de Inclusión, si se presenta el proyecto en los 10 primeros años; por 20 años si se presenta entre los años 11 y 20; y por 10 años si se presenta entre los años 21 y 30. Este punto es un incentivo para que el posible inversor pueda evaluar sobre un escenario de largo plazo.
- **Acceso al mercado libre de cambios**: Libre aplicación del 50% de divisas obtenidas de exportaciones para el pago de capital e intereses de pasivos comerciales y financieros con el exterior. Informantes clave plantean que debería cambiarse la redacción a fin de brindar mejores expectativas para el inversor, pensando que a lo largo de estos 30 años se tendrá un mercado libre de cambio. Plasmar explícitamente el libre acceso al mercado en la ley no es una buena señal para los inversores. Debe destacarse que este beneficio excluye utilidades y dividendos.
- **Derechos de exportación**: Fija porcentajes según tres períodos y según tipo de H2 (tabla con valores). Hasta el año 10, H2 verde y rosa, y sus vectores asociados, tendrán 0%. El máximo corresponde al H2 azul con 4,5% entre los años 21 y 30. Lo que se critica es la falta de información acerca de cómo se obtuvieron dichos valores considerando que ni la propia industria tiene esto en claro. Lo que se destaca como positivo es que se sabe que en los 10 primeros años no se tendrán retenciones y que el máximo corresponde al H2 azul con 4,5% en la última parte del periodo.

En cuanto a las inversiones elegibles, son las siguientes, pese a que esta lista puede ampliarse por la Secretaría de Energía:

- Parques de generación de energías renovables para electrólisis.
- Plantas de reformado de gas natural.
- Plantas generadoras de energía nuclear.
- Plantas electrolizadoras.
- Infraestructura de CCUS (Captura, uso y almacenamiento de carbono)
- Plantas de producción de vectores de H2 (amoníaco verde, fertilizantes, combustibles sintéticos).
- Infraestructura de almacenamiento y desalinización, entre otras.

El proyecto de ley se basa principalmente en beneficios impositivos y arancelarios. En este sentido se señala que debería pensarse adicionalmente en crear las regulaciones técnicas y mecanismos de certificación compatibles con los que está pidiendo el mundo para poder acceder al mercado global. Como otro punto clave dentro de los instrumentos debería incluirse la simplificación de trámites tal como está en la Estrategia Nacional de H2 Colombia. En Argentina

ya se ha ensayado con ventanillas únicas para varias cuestiones. Podemos así simplificar los trámites para el inversor.

Respecto a firmas que hayan demostrado interés en desarrollar la actividad en el país, puede mencionarse a Fortescue. La misma en el intercambio con el gobierno de la provincia de Río Negro marcó su postura respecto al proyecto de ley y apuntó por un lado a la necesidad de tierras que debía brindar el estado como incentivo, ítem al cual finalmente no se accedió, desde la óptica que es el privado quien debe procurar conseguir esas tierras en forma sustentable y satisfactoria, donde las comunidades locales lo validen. Y por otro, solicitaba que el proyecto de ley se abocara exclusivamente al hidrógeno verde, y no al rosa ni al azul como finalmente quedó redactado en el proyecto de ley presentado.

En la actualidad se está discutiendo en los foros especializados los pros y los contras del reciente proyecto de ley que se encuentra en el congreso. Existe una corriente de pensamiento que plantea al hidrógeno como un vector energético que debería focalizarse en el sector exportador como una fuente genuina de generación de divisas. Tal vez la ley que se está discutiendo tenga como objetivo ir más allá y permitir que el desarrollo de un verdadero ecosistema del hidrógeno en Argentina incluya también el desarrollo de proveedores domésticos especializados, la creación de empleo y espacios de innovación orientados al desarrollo de nuevas tecnologías energéticas como podrían ser los electrolizadores nacionales. Las preguntas que aparecen en torno al H2V son: ¿es un nicho de mercado para Argentina desarrollar electrolizadores nacionales y competir con tecnologías que ya han avanzado en su curva de aprendizaje en el mundo? ¿Es un camino que queremos y podemos recorrer? Asimismo, es necesario debatir sobre la orientación exportadora que quiere dársele a la actividad. Es indiscutible que Argentina necesita divisas, pero también es cierto que necesita industrias que apalanquen el desarrollo de una estructura productiva más dinámica y entonces la cuestión es: ¿cómo se puede compatibilizar una política exportadora con una de promoción de la industria sin introducir barreras a las inversiones privadas?

Por último, el H2V tiene el potencial de ser una herramienta crucial en la transición hacia una economía baja en carbono, pero es esencial gestionar los posibles riesgos e impactos ambientales y sociales asociados a su producción y uso antes que las actividades se pongan en funcionamiento y esto debería estar plasmado y discutido en la ley que se encuentra en el congreso. El hidrógeno presenta riesgos para la salud y la seguridad cuando es utilizado a gran escala y estos riesgos pueden limitar su despliegue como tecnología energética. La seguridad en su utilización en forma gaseosa o líquida, y en especial, en su transporte, almacenamiento y distribución es probablemente el mayor reto para intensificar su uso. Esto incluso podría representar un desafío mayor que disminuir sus costos de producción.

5.1. Oportunidades para la industria local como proveedora de insumos a la cadena productiva de hidrógeno bajo en emisiones.

Los cambios económicos, tecnológicos, ambientales y sociales de las últimas décadas han reconfigurado el contexto internacional ofreciendo potenciales ventanas de oportunidad para el desarrollo de las economías especializadas en recursos naturales, como la Argentina. En este contexto en este capítulo se

plantea, por un lado, la necesidad de repensar el potencial de la industria de hidrógeno verde para impulsar la construcción de nuevas capacidades tecnológicas productivas nacionales, pero también en su relación con otros actores tecnoproductivos, lo que podría contribuir a modificar los patrones de especialización productiva a escala nacional. Por otra parte, el predominio de los combustibles fósiles en la matriz energética argentina y la larga trayectoria que posee el país en materia petrolera y gasífera plantea el riesgo de un encerramiento tecnológico (lock-in) del sector energético que impida el desarrollo de la industria del hidrógeno. No obstante, la producción de este tipo de vector energético puede resultar clave para fortalecer la seguridad energética en base a recursos locales -que no responden a variaciones de los precios internacionales-, a cumplir con los acuerdos internacionales contra el cambio climático y con la ley nacional 27.191, que establece que la contribución de la energía de fuentes renovables al consumo nacional de energía eléctrica debe alcanzar el 20% para el año 2025 y, actualmente, se encuentra en torno al 10% y a tener una actividad, fuente generadora de divisas si efectivamente se consolida el sesgo exportador que se pretende tenga este sector.

En particular, interesa contrastar si y de qué manera la industria del hidrógeno está dando lugar a la creación o consolidación de redes de colaboración e, idealmente, de conocimiento que facilitan la ampliación de la base de conocimiento en estas y otras industrias, promoviendo que las firmas que forman parte de la red adopten nuevas capacidades y tecnologías y escalen hacia actividades de mayor valor agregado. Por otro lado, busca corroborar la especificidad del entorno y de los recursos utilizados por la potencial industria del hidrógeno verde y si estas condiciones disminuyen las barreras de entrada de empresas locales productoras de recursos naturales y facilitan la participación de firmas intensivas en conocimiento en las redes de colaboración y en los procesos de aprendizaje e innovación. En un contexto internacional en el que los paquetes tecnológicos son controlados, en gran parte, por grandes jugadores internacionales, pero la difusión transversal de las Tecnologías de Información y Comunicación (TICs) podría ofrecer una ventana de oportunidad para la entrada de empresas locales en nuevas industrias, es relevante indagar si los procesos de aprendizaje e innovación en torno a las energías de fuentes alternativas profundizan la centralización del conocimiento y el control sobre los procesos innovativos o si existen oportunidades para la integración de competencias locales en estos procesos y las condiciones económicas e institucionales que lo facilitan.

En particular, en este capítulo, de manera exploratoria, interesa analizar de qué forma la industria del hidrógeno verde podría dar lugar a la creación o consolidación de redes de colaboración, promoviendo que las firmas que forman parte de la red adopten nuevas capacidades y tecnologías y se facilite su participación en los procesos de aprendizaje e innovación. En un contexto internacional en el que los paquetes tecnológicos son controlados en gran parte por grandes jugadores internacionales, la economía del hidrógeno presenta en la actualidad una tecnología que no está madura entonces aquí podría aparecer una oportunidad para controlar algún eslabón de la cadena productiva. El interrogante que se abre es dónde está esa oportunidad para Argentina, dónde el país podría captar la renta de innovación, cuáles son las capacidades

existentes de las firmas locales para ser proveedoras de esta cadena y en este sentido qué tecnologías dominan la industria.

La industria del hidrógeno verde podría generar encadenamientos productivos que generen empleo e impulsen la industria nacional pero la puesta en marcha de estos proyectos genera una serie de desafíos que requieren de desarrollos tecnológicos específicos. Si bien a nivel internacional el desarrollo de esta industria es relativamente reciente, su factibilidad económica no depende solamente de los avances tecnológicos.

Al analizar los posibles impactos sobre la industria local, el hub de producción de hidrógeno verde es una oportunidad para traccionar la demanda en varios sectores industriales, asociados a:

1. Bombas que utilizan para impulsar el agua de alimentación del electrolizador y bombas que se utilizan para las resinas de desionización.
2. Intercambiadores de calor para enfriar la corriente del hidrógeno que sale del electrolizador
3. Sistemas de refrigeración que consiste en un enfriador mediante el intercambio de calor y aerorefrigerante para sacar el calor producido durante la electrólisis.
4. Sectores de tratamiento del agua que convierten el agua de entrada al electrolizador en agua muy pura para cumplir con los requisitos del electrolizador. Plantas de tratamiento de agua previa a la entrada del electrolizador.
5. Tanques donde se almacena el agua que dará luego servicio a los electrolizadores.
6. Tanques de almacenamiento de hidrógeno que son recipientes a presión.
7. Tuberías que conducen el agua desde el tanque hasta el electrolizador.
8. Tuberías que conducen el residuo generado en el proceso de electrólisis hacia un pozo donde pueda quedar disponible para un futuro tratamiento.
9. Todos los trabajos de ingeniería que corresponden a la obra civil y la estructura para adecuar el suelo sobre el que se construirá la planta de hidrógeno verde.
10. Redes de distribución de servicios auxiliares.
11. Todos los trabajos de diseño y montaje de electricidad que incluirá todos los equipos eléctricos, cableados y conexiones en la planta de hidrógeno.
12. La instalación del sistema contra incendios
13. La instalación de todo el sistema de control y comunicación dado que el funcionamiento de la planta es automático.
14. Componentes electromecánicos de equipos de generación renovable, en especial eólicos, incluyendo: piezas de fundición para aerogeneradores, aceros para torres eólicas, aceros para seguidores solares, cables de acero, equipos de precisión y equipamiento eléctrico.

15. Componentes eléctricos para parques de generación renovable: especialmente cables, transformadores y subestaciones, y tableros de control
16. Servicios de transporte de cargas especiales, como carretones y grúas de grandes dimensiones para montaje de parques de generación renovable;

Una oportunidad que tiene Argentina es en comenzar a recorrer la curva de aprendizaje de la unidad generadora de hidrógeno, el electrolizador. La producción tanto de los electrolizadores de tipo alcalinos como de los denominados PEM (Membrana Electrolítica de Polímero, por sus siglas en inglés), si bien aún a escala reducida, está hoy concentrada en 15 fabricantes a nivel global, incluyendo tanto startups como firmas de nicho y grupos integrados como Siemens, Cummins o ThyssenKrupp. En este sentido, existe una ventana de tiempo para innovar con desarrollos locales, pero debería ser acompañada de esfuerzos muy concretos de política que permitan lograr alta eficiencia e igualar condiciones existentes en otros mercados donde existen amplios programas de asistencia al impulso tecnológico del sector hidrógeno (Argentina Productiva 2030, 2023). En Argentina, en las instalaciones de Y-TEC, ubicadas en Berisso, provincia de Buenos Aires, se dio inicio a un Proyecto Estratégico en Transición Energética orientado a desarrollar el primer electrolizador de alta potencia para la producción de hidrógeno verde del país. Un equipo de trabajo de YPF TECNOLOGÍA (Y-TEC) en conjunto con instituciones del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) comenzó con la ejecución del proyecto titulado “Desarrollo Nacional de un electrolizador de alta potencia, para la producción de Hidrógeno verde. Un aporte a la descarbonización de la industria siderúrgica”, en el marco de la convocatoria que se orienta a financiar Proyectos Estratégicos para la Transición Energética y cuenta con una inversión por parte del Estado nacional de 150 millones de pesos. La iniciativa, impulsada y financiada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCyT), a través de la Dirección Nacional de Proyectos Estratégicos (DNPE), en coordinación con el Fondo Argentino Sectorial (FONASERC) de la Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación (Agencia de I+D+i), tiene por objetivo desarrollar y construir un electrolizador alcalino de 1 mega watt (MW) de potencia para la producción de hidrógeno de alta pureza, a partir de la utilización de agua y electricidad provenientes de fuentes renovables; es decir, sin producir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Será el primer electrolizador desarrollado y producido en Argentina que genere hidrógeno a escala industrial (200 Nm³/h de hidrógeno) a una presión de 10 bar, y será utilizado en la sustitución de combustibles fósiles en la industria siderúrgica de la empresa Tenaris/Siderca, adoptante de la tecnología⁶.

Paralelamente, es necesario mencionar que la producción de hidrógeno verde podría alcanzar en Argentina un gran volumen lo que implicaría desarrollar una enorme capacidad en generación renovables. Este será el principal impulsor para el desarrollo de la cadena de proveedores a nivel local. Algunas estimaciones plantean que podrían generarse 50.000 empleos si pudieran

⁶ <https://www.argentina.gob.ar/noticias/tecnologia-nacional-para-la-produccion-de-hidrogeno-partir-de-fuentes-renovables>

desarrollarse la cadena del hidrógeno y tener un potencial exportador al 2050 de 15.000 millones de dólares⁷.

En relación al tema de cómo la industria podría generar oportunidades para construir redes de colaboración es que se puede mencionar el lanzamiento del Consorcio H2AR (impulsado por Y-TEC) en 2020:

FIGURA N°9: Actores del Consorcio H2AR.



Fuente: H2AR.

La iniciativa ha buscado conformar un espacio de trabajo colaborativo entre empresas integrantes de la cadena de valor del hidrógeno. En particular, la idea ha sido generar un espacio de trabajo colaborativo entre empresas tales como automotrices, generadoras de energía eléctrica, transportistas y distribuidoras de gas natural, grandes consumidores de energía, etc. que actúen o estén interesadas en participar en la cadena de valor de este vector energético, desde la producción hasta la aplicación⁸. Al mismo tiempo, incorpora una visión amplia del hidrógeno verde al promocionar también iniciativas con hidrógeno azul. La constitución del consorcio responde, además de la búsqueda de oportunidades comerciales a nivel doméstico e internacional, a la institucionalización de esta cadena de valor que podría tener un importante rol en la economía doméstica de las próximas décadas, y a la constitución de un ámbito de discusión y difusión de políticas activas para el sector.

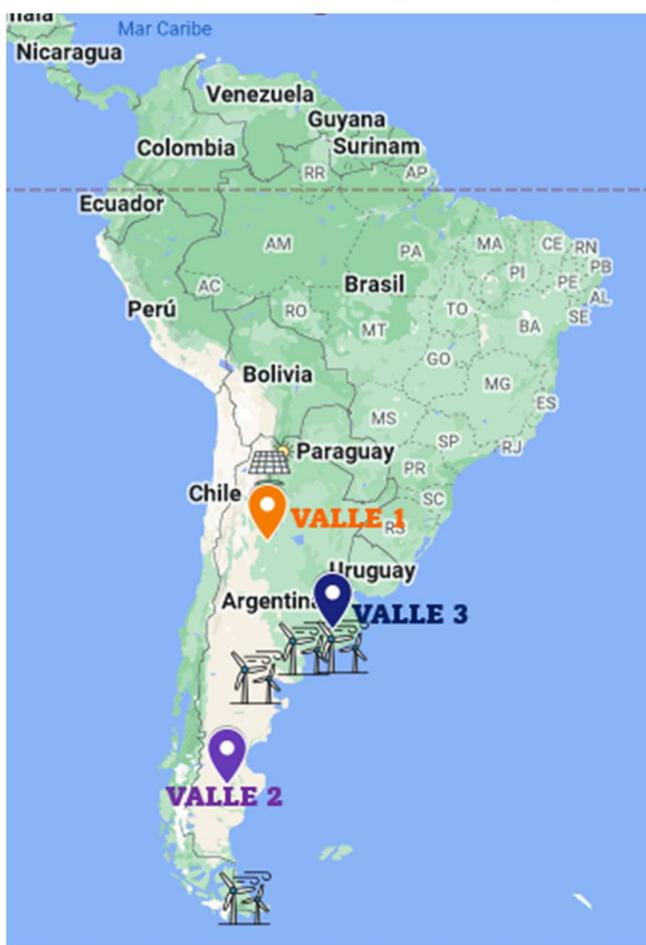
⁷ <https://www.argentina.gob.ar/noticias/cuarto-encuentro-sobre-la-cadena-de-valor-del-hidrogeno-en-argentina>

⁸ <https://hidrogenoverdehoy.com.ar/de-que-se-trata-el-consorcio-h2ar-de-y-tec/>

5.2. Experiencias de producción de valles del hidrógeno en Argentina: Estado Actual de las iniciativas.

Los valles del hidrógeno son ecosistemas regionales que unen la producción de hidrógeno, el transporte y diversos usos finales tales como la movilidad o materia prima industrial, de manera de conseguir el desarrollo de una nueva economía del hidrógeno⁹. El concepto "valle de hidrógeno" habla de integrar al sector público, privado y académico, en políticas públicas, cadena de valor, I +D +i para potenciar el desarrollo de la economía del hidrógeno en una región o regiones, que a partir de la integración permita lograr una economía de escala. Los valles del hidrógeno pueden ayudar a desarrollar los primeros proyectos del H2 en nuevos mercados y geografías. En el país hay tres valles de hidrógeno muy definidos, los cuales son el Noroeste Argentino con la energía fotovoltaica, otro en la Patagonia (Provincia de Río Negro y Tierra del fuego) con la eólica y uno en el sur de la provincial de Bs As (Bahía Blanca y Puerto Quequén) también con energía eólica.

MAPA N°2. Valles del Hidrógeno en Argentina.



Fuente: Elaboración propia.

⁹ <https://www.energiaestrategica.com/cuales-son-los-posibles-valles-de-hidrogeno-en-argentina/>

Al momento de analizar la industria argentina, existe una única empresa que produce hidrógeno verde en el país con fines comerciales llamada Hychico. Posee una planta que fue inaugurada en diciembre de 2008 y se encuentra ubicada en las inmediaciones de su área petrolera y su parque eólico (Diadema) en la provincia de Chubut, aproximadamente a 20 km de la ciudad de Comodoro Rivadavia. La planta cuenta con dos electrolizadores con una capacidad total de 120 Nm³/h de hidrógeno y 60 Nm³/h de oxígeno. El hidrógeno generado es de alta pureza y esto lo hace especialmente apto para su uso en Celdas de Combustible (Hychico, 2021). Por otro lado, Argentina posee un mercado local de hidrógeno gris que es utilizado en la industria petroquímica (Bril Mascarenhas et al., 2021), como el caso de la empresa Air Liquide.

A su vez, el Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology (IEE) de Alemania, se encuentra celebrando acuerdos con provincias como la de Río Negro para realizar estudios sobre las potencialidades del hidrogeno verde. En este caso en particular, la provincia le encargó a esta institución analizar la factibilidad de la producción de este vector energético en el marco del Plan Estratégico Hidrógeno Verde Río Negro (H2VRN). El estudio de factibilidad analizó los antecedentes técnicos, las condiciones iniciales para la producción local y relevó la infraestructura existente junto con los recursos renovables disponibles y posibles sitios para llevar a cabo la electrólisis del agua. El informe plantea dos escenarios: uno de consumo local y otro de exportación. De acuerdo al documento, se analizó la posibilidad de construir en 2025 una planta de producción de hidrógeno que se alimente con un mix de energía eólica y fotovoltaica. En esa línea, se identificó como potenciales consumidores domésticos a las poblaciones de Bahía Blanca y el Alto Valle de Río Negro, al tiempo que se analizaron cuatro posibles sitios de emplazamiento: Pomona, El Solito, Laguna de la Retención y El Chocón. Los expertos alemanes aseguran que la provincia de Río Negro podría ser pionera en Sudamérica en la economía verde del hidrógeno.

La ciudad de Bahía Blanca, localizada al sur de la provincia de Buenos Aires se destaca como un hub natural para la producción, el almacenamiento y la exportación de hidrógeno. En efecto, como no sucede en otras locaciones, pasan por las cercanías de esta ciudad oleoductos y poliductos, posee el principal complejo petroquímico del país, tiene una gran capacidad instalada de generación de energía eólica y, complementariamente, una gran factibilidad de generar energía solar. Por la calidad de sus vientos, la provincia de Buenos Aires, es una de las principales áreas de concentración de generación eólica con unos 1177 MW de potencia instalada, gran parte de la cual se produce en la zona de influencia de Bahía Blanca.

Por otro lado, se debe destacar que esta ciudad cuenta con un puerto de aguas profundas, similar a los principales hubs portuarios del mundo y que también forma parte del consorcio para la investigación y el desarrollo del hidrógeno en el país coordinado por Y-TEC. Vale acotar además que, con la finalidad de aprovechar la infraestructura disponible en el complejo petroquímico que posee Bahía Blanca se tiene proyectado construir una planta de licuefacción de gas natural en la zona portuaria de Bahía Blanca con una capacidad de 20 millones de m³. Finalmente y en línea con estos desarrollos resulta relevante destacar que Bahía Blanca es sede de un polo científico tecnológico PLAPIQUI-CONICET y posee una ilustre Universidad Nacional, la Universidad Nacional del Sur.

Considerando todas estas potencialidades, la empresa IEASA (Empresa de Integración Energética Argentina) firmó un acuerdo para el desarrollo del primer proyecto de hidrógeno verde a gran escala en la zona de Bahía Blanca, donde se utilizará un predio de 200ha con 2,5 km frente al mar destinados al hub del hidrógeno¹⁰.

Asimismo en la Provincia de Tierra del Fuego la empresa MMEX Resources Corporation planea producir hidrógeno verde. La iniciativa crearía 1500 puestos de trabajo durante la construcción de la planta y hasta 300 puestos fijos de trabajo calificado cuando entre en operaciones. Entre las razones argumentadas por MMEX para elegir Tierra del Fuego se destacan la calidad de los vientos en la provincia austral, su ubicación estratégica frente al océano (que facilita la logística exportadora) y las ventajas tributarias que ofrece por ser una zona franca (ausencia de impuesto al valor agregado y menor tributo a la renta, entre otras). La iniciativa de la firma estadounidense proyecta la construcción de un campo eólico de hasta 300 megavatios (160 MW base), y una planta de electrólisis que permitirá obtener más de 55 toneladas de hidrógeno verde por día, en la ciudad de Río Grande. El objetivo sería desarrollar una unidad de conversión de amoníaco o metanol de 300 toneladas diarias para exportaciones globales, que se realizarán a través de una infraestructura de carga marítima propia¹¹.

6. Conclusiones.

En esta tesis se ha avanzado en el análisis de las potencialidades de la cadena productiva del hidrógeno bajo en emisiones en Argentina y su aporte a la transición energética justa como una oportunidad para impulsar la industrialización y el desarrollo tecnológico para cumplir con los Objetivos de desarrollo sostenible, en particular con el objetivo número 7, y la descarbonización del sistema energético nacional.

Desde este trabajo de investigación se obtiene que: a nivel local, la gran disponibilidad de recursos renovables (principalmente eólicos y solares) que garanticen una alta productividad de los parques de generación abre una oportunidad muy significativa para el desarrollo de la actividad y que el rol del hidrógeno bajo en emisiones estaría centrado básicamente en aplicaciones industriales en usos del calor o en el sector energético (como el sector de acería, el refinado de combustibles, la industria química, y las actividades productivas desarrolladas en zonas aisladas como la minería). En este sentido, la industria necesitará para su despegue conseguir bajos costos del capital y acceso al financiamiento para lograr la posibilidad de amortizar los parques de generación para garantizar tarifas bajas de la energía generada que le permita competir en el mercado internacional, así como conseguir costos de transporte competitivos. El tema del costo de capital es fundamental en esta industria ya que será determinante para asegurar la competitividad sistémica del sector. Lo más importante para este tipo de inversiones en particular, y para atraer cualquier tipo en general, es mantener una política fiscal, monetaria y cambiaria consistente a

¹⁰ <https://www.energiaestrategica.com/enarsa-lanzo-una-convocatoria-para-abastecer-al-primer-proyecto-de-hidrogeno-verde-en-el-sur-de-buenos-aires/>

¹¹ <https://eleconomista.com.ar/economia/hidrogeno-verde-tierra-fuego-inversion-us-500-millones-e-inicio-produccion-2025-n53522>

través del tiempo, y de esta manera señalar la estabilidad macroeconómica del ambiente de inversión. Todo lo anterior debe darse en un marco normativo y jurídico que asegure que se cumplirán con los compromisos pactados a largo plazo.

En este contexto, es importante tener en cuenta que el acceso a los recursos renovables no es la única fortaleza que tiene Argentina. También posee industrias que tienen actividades sinérgicas con el hidrógeno: todo lo que está relacionado con el amoníaco, gas natural y petróleo, la industria petroquímica y la energía eléctrica lo que le permitirá ser más competitivo a la industria. Y es necesario remarcar que ser competitivo significa desarrollar una sinergia entre el sector público, el sector empresarial y el complejo científico tecnológico.

Al examinar las políticas que Argentina ha llevado a cabo para promover esta industria se obtiene que ha conformado una Mesa Interministerial del Hidrógeno a fines del 2020, que ha sido fortalecida por la Secretaría de Asuntos Estratégicos durante todo el año 2023. La misma ha profundizado el diálogo entre las diferentes áreas de los sectores públicos y privados que ha permitido avanzar en el diseño de una Estrategia Nacional para el Desarrollo de la Economía del Hidrógeno.

Del análisis del proyecto de ley del hidrógeno verde y de bajas emisiones se obtiene que la misma presenta como objetivo promover las inversiones necesarias para estimular la exportación del recurso de manera de generar divisas que permita resolver las crisis recurrentes de la balanza de pagos. Sin embargo, lo anterior debería estar acompañado de una política industrial que desarrolle una economía del hidrógeno que permita la localización de desembolsos para integrar con producción nacional y articular con las capacidades científico-tecnológicas locales. Lo anterior ha generado un amplio debate en los foros especializados, en especial se ha puesto foco en que el requisito de contenido nacional podría resultar una barrera a la atracción de inversiones. Por lo tanto, desde este trabajo de investigación se propone que sería necesario realizar un estudio de las capacidades tecnológicas nacionales, inclusive antes de que se instrumente la nueva ley del hidrógeno, de manera de generar información que facilite el diseño de políticas públicas (programas y marcos regulatorios) y estrategias privadas que potencien la creación de valor, la diversificación productiva y el desempeño económico y ambiental del sector productivo. Sería importante avanzar sobre los nichos de oportunidades a partir de ese diagnóstico de capacidades, poniendo el foco en una mirada federal, acordando con los gobiernos provinciales para estimular el consumo interno y la exportación del hidrógeno como el desarrollo de tecnología nacional.

En esta tesis se analizaron los encadenamientos productivos de esta actividad y se examinaron oportunidades potenciales para un desarrollo a mayor escala de la economía del hidrógeno con participación de capacidades tecnológicas locales para la generación de empleos de calidad. La tesis avanza exploratoriamente en el análisis de esas oportunidades observando que las mismas existen para la industria metalmeccánica, en los servicios auxiliares de la industria, separadores, equipos de almacenamiento, bombas e intercambiadores de calor.

Por otro lado, se estudiaron los proyectos vigentes en el ecosistema del hidrógeno en Argentina y se destaca la escasa actividad a nivel nacional en

empresas productoras de hidrógeno verde ya que solo se encuentra produciendo una sola empresa, Hychico, que es una firma que a partir del año 2008 produce hidrógeno a partir de energía eólica en la Patagonia Argentina. Sin embargo, se identifican tres valles del hidrógeno claramente definidos: la región del NOA con la energía fotovoltaica, la Patagonia con la energía eólica y el sur de la provincia de Buenos Aires con la energía eólica.

Se espera que la construcción de la industria del hidrógeno genere empleo de calidad. Esto, por un lado, representa una oportunidad de mejora ante el escenario local recesivo, con alta inflación y desfavorable en materia de empleo; y por otro, la oportunidad de, en esa generación de empleo, la posibilidad de mejorar el rol de las mujeres en la misma. Debido que es importante en la política pública promover la participación de las mujeres en el sector del hidrógeno fomentando la pluralidad y equidad en los espacios técnicos profesionales y de decisión. En este sentido, la mayor participación femenina, su empoderamiento y la disminución de la brecha de género en el sector, impacta positivamente en la sociedad desde diferentes esferas: incide en la productividad y competitividad económica de los países y del sector en general; incrementa la calidad y relevancia de la investigación científica y la innovación tecnológica; permite y promueve la participación de las mujeres en la toma de decisiones en los sectores de ciencia y tecnología; y contribuye a disminuir la segregación vertical y, por tanto, a tener una sociedad más justa y equitativa.

A nivel subnacional, la federalización que puede implicar la construcción de la industria del hidrógeno verde podría colaborar en la disminución de las brechas provinciales. En este sentido, disminuiría la dispersión que poseen actualmente en cuanto a su performance en desarrollo humano fundamentalmente en la dimensión de ingresos provincias que se encuentran en los extremos de este indicador como las del valle 1 (NOA) y las del valle 2 (Patagonia).

Además, por tratarse de un fenómeno multiactorial además de multidimensional, la incorporación del hidrógeno verde a la matriz energética exige una fuerte participación de todas las partes interesadas en un diálogo permanente que lleve a un proceso dinámico de co-creación. En este sentido, se recomienda un abordaje sistémico integrando a la comunidad en las decisiones, con estudios de impacto ambiental, resolviendo de antemano los problemas de la propiedad de la tierra y analizando las consecuencias que el ecosistema del hidrógeno podría generar sobre la misma por la utilización de grandes extensiones de tierra que el mismo implica, trabajando sobre la gobernanza en las comunidades para que las decisiones surjan del intercambio con las mismas y eso permita la continuidad de los proyectos.

Como conclusión, para la Argentina la transición hacia una matriz energética justa que asegure el cumplimiento de los ODS y se focalice en las metas net zero al 2050, implica transitar el camino hacia el ecosistema del hidrógeno. La dotación de recursos naturales, el complejo científico tecnológico, la curva de aprendizaje de las firmas en el sector de petróleo y gas le ofrecen a la industria un panorama auspicioso para su desarrollo. Sin embargo, este tipo de industrias ultra capital intensivo necesita de un marco económico y normativo de largo plazo que asegure inversiones concretas en el sector. El desafío que ofrece esta industria es la construcción de sinergias entre los distintos actores intervinientes de manera de crear consensos para aprovechar las oportunidades que el mundo está buscando en países que puedan llegar a ser posibles proveedores de

hidrógeno a escala mundial. Para lo anterior se deberán construir puentes y acuerdos a largo plazo apoyados en una planificación energética sistémica que incluya también al gas y al hidrógeno azul como vector energético de transición.

7. Referencias.

Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. Ecosistemas 2002/2. Disponible en: <http://www.aeet.org/ecosistemas/022/informe1.htm>.

Asamblea General de las Naciones Unidas (2012). Energía Sostenible para Todos: un Programa Mundial de Acción. Disponible en <http://www.se4all.org/sites/default/files//2014/02/SE4All-Action-Agenda-ESP.pdf>.

Asamblea General de las Naciones Unidas (2015). Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Disponible en: <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/RES/70/1>

Banco Mundial (2018). Tracking SDG7: The Energy Progress Report. Disponible en: <https://trackingsdg7.esmap.org/>

Bhatia, M., & Angelou, N. (2015). Beyond connections. Energy Access Redefined ESMAP Technical Report. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/24368>.

BID (2021). Hidrógeno Verde: Oportunidad para liderar la descarbonización de Costa Rica. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/energia/es/hidrogeno-verde-oportunidad-para-liderar-la-descarbonizacion-de-costa-rica/#:~:text=Actualmente%2C%20la%20demanda%20mundial%20de,razones%20mencionadas%20continuar%C3%A1%20en%20crecimiento6>.

Bojo, J., Maler, K.G. y Unemo, L. (1990). Environment and development: an economic approach. Dordrecht. Kluwer.

Bonfiglio, J.I., Vera, J. y Salvia, A. (2023). Privaciones sociales y desigualdades estructurales. Condiciones materiales de los hogares en un escenario de

estancamiento económico (2010-2022). Documento Estadístico – Barómetro de la Deuda Social Argentina -1ª ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Educa.

Bril Mascarenhas, T., Gutman, V., Dias Lourenco, M. B., Pezzarini, L., Palazzo, G. y Anauatti, M. V. (2021). Políticas de desarrollo productivo verde para la Argentina. Documentos de trabajo. FUNDAR. Disponible en <https://fund.ar/wp-content/>.

Butlin, J. (1989). Our common future. By World commission on environment and development. (London, Oxford University Press, 1987, pp.383 £5.95.). J. Int. Dev., 1: 284–287. doi: 10.1002/jid.3380010208.

CAMMESA (2020). Informe anual 2019. Disponible en: <https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/>

CAMMESA (2021). Informe anual 2020. Disponible en: <https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/>

CAMMESA (2022). Informe anual 2021. Disponible en: <https://cammesaweb.cammesa.com/informe-anual/>

Carpenter, S.R. (1991). Inventing sustainable Technologies. En Pitt, J. y Lugo, E. (Eds) The Technology of Discovery and the Discovery of Technology. Proceedings of the Sixth International Conference of the society for Philosophy and Technology. Blacksburg.

Carrizo, S., Nuñez Cortés, M., & Gil, S. (2016). Transiciones energéticas en Argentina. Revista Ciencia Hoy, 147. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1295.6644>

CEPAL (2013). Desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. Seguimiento de la agenda de las Naciones Unidas para el desarrollo post-2015 y Río+20. Bogotá.

CEPAL (2016). La matriz de la desigualdad social en América Latina. Disponible en: <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/40668>

CEPAL (2022). Hidrógeno verde: vector energético para el desarrollo de América Latina y el Caribe.

CEPAL (2022). Reunión de Alto nivel de la CEPAL sobre Energías Renovables para la Adaptación y la Integración Regional en el marco de la V Reunión Ministerial de

la Alianza de Energía y Clima de las Américas “Transiciones energéticas justas e inclusivas”.

Charres, H., Villalaz, J., Martínez, J. (2018). Triangulación: Una herramienta adecuada para las investigaciones en las ciencias administrativas y contables.

Chichilnisky, G. (1997). What is sustainable development? *Land Economics*, Vol 73, N°4, p.467-491.

Comisión de las Comunidades Europeas (1992). Quinto Programa de la Unión Europea en materia de medio ambiente. Hacia un desarrollo sostenible. Bruselas.

Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo (1987). Informe Brundtland. Editorial: OMS Washington.

Consejo Económico y Social (2021). Hacia una estrategia nacional de Hidrógeno 2030.

Cordonnier, J. & D. Saygin (2022). "Green hydrogen opportunities for emerging and developing economies: Identifying success factors for market development and building enabling conditions", *OECD Environment Working Papers*, No. 205, OECD Publishing, Paris. Disponible en: <https://doi.org/10.1787/53ad9f22-en>.

D'Angelo G., Bleger D., Lasgoity E. (2022). ¿Qué esperar del Hidrogeno Verde en los próximos años?

Denzin, N. (1989). *Strategies of Multiple Triangulation. The Research Act: A theoretical Introduction to Sociological Methods*.

Díaz Bravo, L., Torruco García, U., Martínez Hernández, M., y Varela Ruíz, M. (2013). *La entrevista, recurso flexible y dinámico*.

EconoJournal (2023). Advierten que el proyecto de Ley de Hidrógeno dejaría a la Argentina en una posición rezagada para captar inversiones privadas, 28 de julio de 2023.

Fanelli, J.M. (2012). *La Argentina y el desarrollo económico en el siglo XXI: ¿Cómo pensarlo? ¿Qué tenemos? ¿Qué necesitamos?* Buenos Aires: Siglo Veintiuno. ISBN: 9789876292122.

- García Bernal, N. (2021). Industria del hidrógeno verde en Chile. Disponible en: https://www.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29024/1/BCN_Desarrollo_del_mercado_de_H2_verde_en_Chile.pdf.
- García-García, P., Carpintero, O., Buendía, L. (2020). Just energy transitions to low carbon economies: A review of the concept and its effects on labour and income. *Energy Research & Social Science*, v. 70, p. 101664. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101664>
- GEA (2012). *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. ISBN 9780 52118 2935.
- GEA (2012). *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria. ISBN 9780 52118 2935.
- Guzowski C., Ibáñez Martín M., Zabaloy M. F. (2021). *Pobreza Energética: Conceptualización y su Vínculo con la Exclusión. Breve Revisión para América Latina*.
- Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. 5ta ed. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Hychico (2021). *Hacia la Producción de Hidrógeno “Verde” en la Patagonia. Experiencia de más de 10 años y perspectivas en la Región*.
- Ibáñez Martín, MM y London, S. (2018). *Medición de la exclusión social: su relación con la desigualdad y la pobreza. Observaciones para argentina. XXXI Congreso Alas, Montevideo, Uruguay. Disponible en: http://alas2017.easyplanners.info/opc/tl/6153_maria_maria_ibanez_martin.pdf*
- IEA (2019). *The Future of Hydrogen*. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.
- IRENA (2020). *Green hydrogen cost reduction scaling up electrolyzers to meet the 1.5°c climate goal*. Disponible en: <https://irena.org/>

/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/IRENA_Green_hydrogen_cost_2020.pdf

- IRENA (2022). *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Jacob, M., Steckel, J. C. (2016). *The Just Energy Transition*, Gland, WWF International.
- Kern, F., & Markard, J. (2016). Analysing Energy Transitions: Combining Insights from Transition Studies and International Political Economy. In *The Palgrave Handbook of the International Political Economy of Energy* (pp. 291–318). Palgrave.
- Maidana, M.F. (2018). *Acceso Energético e Inclusión Social: Interacciones. Un análisis para el Programa PERMER en Argentina*.
- Marradi, A., Archenti, N. y Piovani J.I. (2007). *Manual de metodología de las ciencias sociales*.
- Mateo, J. y Suster, M. (2021). *Hacia la economía del hidrógeno: perspectivas de la agenda internacional y las oportunidades locales*. Documentos de Trabajo del CCE N° 7, Consejo para el Cambio Estructural - Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación.
- MAYDS (2020). *Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República Argentina.
- MAYDS (2021) *Cuarto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC)*.
- Mazzucato, M. (2018). *Mission-oriented innovation policies: challenges and opportunities*, *Industrial and Corporate Change*, Volume 27, Issue 5. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/icc/dty034>.
- MEGSA (2023). *Proyectos de ley de promoción Gas Natural Licuado e Hidrógeno - Parte II*. Webinar. Lambertini, G. (CEARE). Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=UcrjruPup_Q
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República Argentina (MAYDS) (2022). *Plan Nacional de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático*.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable (MAyDS) (2017). Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Argentina. ISBN 978-987-1560-73-8.

Ministerio de Economía de la Nación (2023). Argentina Productiva 2030. Misión 2. Desarrollar la economía verde para una transición ambiental justa. Plan para el Desarrollo Productivo, Industrial y Tecnológico.

Ministerio de Energía de Chile (2019). Mapa normativo del sector energético chileno.

Naciones Unidas (2016). ENERGÍA ASEQUIBLE Y NO CONTAMINANTE: ¿POR QUÉ ES IMPORTANTE? Disponible en: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/7_Spanish_Why_it_Matters.pdf

Naciones Unidas. (2018). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2018.

Nadimi, R., & Tokimatsu, K. (2018). Energy use analysis in the presence of quality of life, poverty, health, and carbon dioxide emissions. *Energy*, 153, 671–684. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.150>.

Natixis (2021). Financing green hydrogen's development. Disponible en: <https://gsh.cib.natixis.com/our-center-of-expertise/articles/financing-green-hydrogen-s-development>.

OCDE (2022). Green hydrogen opportunities for emerging and developing economies.

OLADE/CEPAL/GTZ (2003). Energía y Desarrollo Sustentable en AL y C: Guía para la formulación de políticas energéticas, Santiago de Chile.

Ostrom, E. (2010). *Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems*.

PNUD (2015). Informe sobre Desarrollo Humano 2015. Trabajo al servicio del desarrollo humano.

Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (2017). Informe Nacional sobre Desarrollo Humano 2017. Información para el desarrollo sostenible: Argentina y la Agenda 2030. 1ra ed. Buenos Aires: PNUD. ISBN 978-987-1560-72-1.

Redclift, M. (1987). *Sustainable Development: Exploring the Contradictions*. London: Methuen.

- Schneider, H. (2021). Hidrógeno verde en América Latina. Posibilidades, barreras y oportunidades. Fundación Konrad Adenauer Stiftung.
- Secretaría de Energía (2021). Lineamientos para un Plan de Transición Energética al 2030.
- Shiva, V. (1988). Staying alive: women, ecology, and development in India. ISBN: 0-86232-822-5.
- Solow, R. (1992). "An Almost Practical Step Toward Sustainability" Lecture on the Occasion of the Fortieth Anniversary of Resources for the Future, Washington, DC, October.
- Subsecretaría de Planeamiento Energético (2022). Gobernanza para lograr una Transición Energética Justa en Argentina.
- Thomson, H., Snell, C., & Bouzarovski, S. (2017). Health, well-being and energy poverty in Europe: A comparative study of 32 European countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, (6). <https://doi.org/10.3390/ijerph14060584>.
- Torres, R. y García, N. (2022). Introducción al Hidrógeno verde. Disponible en: <https://atp.bcn.cl/>. Recuperado el 22/07/2023.
- Velo García, E. (2005). Desafíos del sector de la energía como impulsor del desarrollo humano, en Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano, núm. 5. ISSN: 1885-8104
- WEC (2017). World Energy Issues Monitor 2017. Exposing The New Energy Realities. Disponible en: <https://www.worldenergy.org/news-views/entry/consejo-mundial-de-energia-las-tendencias-y-tecnologias-disruptivas-emergentes-encabezan-la-agenda-energetica-mundial>.
- WEC (2019). World Energy Issues Monitor 2019. Managing The Grand Energy Transition. Disponible en: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-issues-monitor-2019-managing-the-grand-energy-transition>.
- WEC (2021). World Energy Issues Monitor 2021. Humanising Energy. Disponible en: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-issues-monitor-2021-humanising-energy>.

YTEC (2020). Consorcio para el desarrollo de la economía el hidrógeno en Argentina.

Zabaloy M.F., Guzowski, C., Recalde, M (2023). "Políticas públicas para la transición energética argentina: pasado, presente y futuro", Revista Estudios de Políticas Públicas, volumen 9, N°1, junio 2023.

Zilio, M. (2016). Sector energético y medio ambiente: Oportunidades en un contexto de cambio climático. En Guzowski, C. (comp.) Los desafíos de la política energética en Argentina. Panorama y propuestas. Buenos Aires: Dunken. ISBN: 978-987-02-9116-9.