

¿POR QUÉ HIDRÓGENO VERDE?

Ana Gnazzo Laplume*

RESUMEN

El mundo está cada vez más comprometido en acciones por el clima que permitan limitar el calentamiento global. Dentro de esas acciones, se destaca la irrupción del hidrógeno verde, como vector energético capaz de contribuir a satisfacer la demanda creciente de energía a nivel global, sin emitir gases de efecto invernadero ni en su proceso productivo ni en su quema. En la actualidad, el 75 % de los combustibles usados en el mundo son fósiles. Ya se observan fuertes señales de avance global en materia de transición hacia energías limpias. Este artículo aborda los principales factores que impulsan el desarrollo del hidrógeno verde, así como el posicionamiento de Uruguay para el desarrollo de una nueva economía vinculada a este vector energético y sus productos derivados.

Palabras clave: hidrógeno verde; descarbonización; energías limpias; cambio climático; transición energética.

ABSTRACT

The world is increasingly engaged in climate action aimed to limit global warming. Among these actions, green hydrogen emergence stands out, as an energy vector capable of contributing to meeting the growing demand for energy at a global level, without emitting greenhouse gases either in its production process or in its burning phase. Currently, 75% of the fuels used in the world are fossil. There are already strong signs of global progress in the transition towards clean energy. This article addresses the main factors driving the development of green hydrogen, as well as Uruguay's positioning for the development of a new economy linked to this energy vector and its derived products.

* Contadora Pública. Licenciada en Dirección de Empresas. Posgraduada en Estrategia Nacional por el Centro de Altos Estudios Nacionales. Maestrando en Proyectos de Hidrógeno Verde y en Estrategia Nacional. Certificada como Project Management Professional. Es gerente del Área Planificación Estratégica en Ministerio de Transporte y Obras Públicas y docente en el Centro de Altos Estudios Nacionales (CALEN) y en el Instituto Militar de Estudios Superiores (IMES).

Keywords: green hydrogen; decarbonization; clean energy; climate change; energy transition.

Introducción

Como resultado de la 28ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP 28) realizada en noviembre del 2023 en Dubái, los países se comprometieron (entre otras acciones) a la movilización de un total de U\$S 85 mil millones de dólares para la acción por el clima. De ese paquete financiero, casi U\$S 7 mil millones corresponden al acuerdo logrado en materia de energías renovables y eficiencia energética (COP 28). El objetivo de este, es limitar el calentamiento global a 1,5 °C en comparación con la era preindustrial y alcanzar las emisiones netas de dióxido de carbono cero para 2050.

Según el presidente de la COP28, el Dr. Sultán Al Jaber (2023), este histórico compromiso fue el resultado del consenso logrado a través de un paquete de medidas cruciales para acelerar la acción por el clima. En materia energética, implicaron el compromiso de 133 países para contribuir a alcanzar la meta de triplicar las energías renovables y duplicar la eficiencia energética a nivel global.

Esta apuesta busca impactar fuertemente en la mitigación de los efectos del cambio climático. Sumado a lo anterior, los desafíos que plantean los conflictos bélicos existentes en la actualidad, así como los paquetes de apoyo económico comprometidos por la Unión Europea y Estados Unidos para lograr que sus economías sean bajas en carbono, han catalizado desde el año 2021 el reposicionamiento del hidrógeno renovable como el energético del futuro (Consejo de la Unión Europea, 2022).

Y es aquí donde debemos hacer una importante distinción: el hidrógeno producido en la actualidad (generado a partir del procesamiento de combustibles fósiles), representa solamente el 1 % del consumo mundial de energéticos. Por lo tanto, debe puntualizarse que no se trata de un nuevo combustible a ser creado porque ya se produce. Pero, según la Agencia Internacional de Energía (2022), el que se consume en la actualidad, no es renovable.

La proyección de consumo mundial indica que la demanda de hidrógeno mostrará una tendencia al crecimiento, situándolo por encima de los 136 millones de toneladas en 2040 y de 520 millones de toneladas en 2070, según la Agencia Internacional de Energía (IEA). En términos monetarios, para 2030 el

mercado de hidrógeno limpio se proyecta con un 61,1 % de crecimiento anual compuesto (Markets and Markets, 2024), llegando a los U\$S 30.600 millones.

Nada despreciable, considerando que en 2022 representaba unos U\$S 318 millones (UnivDatos, 2024).

En 2021, en el marco de este contexto global, el mundo presenció la irrupción en escena del denominado “Hidrógeno Verde”. Se denomina así al que se produce a partir de la electrólisis del agua, utilizando para ello energía proveniente de fuentes renovables (solar y/o eólica). Este no libera CO₂ a la atmósfera ni en su proceso productivo, ni en su quema (Iberdrola, s.f.).

¿Por qué se precisa hidrógeno verde?

Esta pregunta surge en forma inevitable ante tal proyección de demanda a futuro, y se explica por los factores que se expresan a continuación:

Existe una proyección creciente de la demanda global de energéticos

En la actualidad, el consumo energético global se obtiene a partir de un 39 % de petróleo y un 36 % de carbón. La electricidad representa un 13 % y la biomasa un 12 % (Enerdata, 2024).¹

Impulsado por los países del BRICS², en 2023 el crecimiento del consumo mundial de energía se aceleró un 2,2 %, lo que implicó un aumento mucho más rápido que la tasa histórica promedio registrada entre 2010 y 2019, que fue del 1,5 % anual. China e India lideraron ese consumo incremental, representando el 42 % a nivel mundial. También aumentó en Oriente Medio un 3,7 % y, en Brasil, pasó a ser un 3,3 % contra el 0,9 % anual promedio registrado entre 2010 y 2019 (Enerdata, 2024).

Del referido informe publicado por Enerdata sobre el Consumo Energético mundial, se obtiene la siguiente información que ilustra la situación global en materia energética:

Por el contrario, el consumo de energía disminuyó por segundo año consecutivo en la OCDE³ (1,5 %), en un contexto de crecimiento económico moderado o lento y de débil actividad industrial: cayó en la UE (4,2 %, con un descenso del 9,3 % en Alemania), Japón (3,5 %) y Corea del Sur (2,8 %), y se mantuvo estable en EE. UU. (donde hubo un mayor consumo de petróleo

¹ Única de fuente de datos abiertos a los que se tuvo acceso para la elaboración de este artículo.

² Brasil, Rusia, China, India y Sudáfrica.

³ Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico.

para el transporte, pero menor consumo de electricidad para refrigeración y una caída del consumo de carbón).

La intensidad energética global disminuyó solo un 1 % en 2023, es decir, mucho más lentamente que en 2022 (2,5 %) y que su tendencia histórica (1,8 % anual entre 2010 y 2019). Pero esto sigue siendo muy deficiente en comparación con la disminución de más del 3,5 % anual necesaria para alcanzar la meta de 2 °C.

En 2023, el consumo mundial de energía aumentó a un ritmo más lento que el PIB mundial (2,2 % y alrededor del 3 %, respectivamente), pero los niveles y tendencias de intensidad energética difieren ampliamente entre las regiones del mundo, lo que refleja diferencias en la estructura económica y los logros en eficiencia energética. Hubo una fuerte reducción de la intensidad energética en los países de la OCDE (3,1 % en 2023, en comparación con la tendencia de descenso de 2,1 % anual entre 2010 y 2019). Esto se debió principalmente a una mayor generación de energía renovable y a una débil actividad industrial. (Enerdata, 2024)

Explicada la evolución pasada y situación actual, es necesario dar una mirada al futuro. Para ello, el World Energy Outlook⁴ 2023 (Agencia Internacional de Energía, 2024), elabora tres escenarios de proyección de demanda energética a 2050, donde las fuerzas impulsoras del desarrollo son la economía y la población. Todos ellos asumen un incremento promedio de crecimiento económico global de 2,6% anual, así como un aumento poblacional que varía entre los 8.000 millones y los 9.700 millones en 2050.

Existe una necesidad de inversión incremental alineada con las metas del Desarrollo Sostenible

Según Agencia Internacional de Energía (IEA), de cada U\$S 1 invertido en combustibles fósiles, en la actualidad se invierten U\$S 1,8 en tecnologías de energías limpias e infraestructura relacionada. Este es un incremento muy importante con relación al ratio que se observaba cinco años atrás, que era de U\$S 1 a U\$S 1.

Sin embargo, y a pesar de la magnitud de su crecimiento, la debilidad que ofrece dicho incremento está dada porque el mismo se verifica solamente

⁴ Panorama Energético Global.

en los países desarrollados más China. Por lo tanto, se requiere ampliar el espectro de inversión en proyectos de energías limpias. Para alcanzar las Metas del Desarrollo Sostenible se debe cumplir con los objetivos de acceso a la energía, la seguridad energética y la mitigación del impacto climático.

Por otro lado, se estima necesario reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 43% a partir de las generadas en 2019. Solo así podremos aspirar a cumplir con la meta de reducción del calentamiento global del Acuerdo de París (mantener 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales), según el Panel Intergubernamental del Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC por su sigla en inglés).

La misma fuente indica que se requiere un compromiso de reducción de emisiones más rápido y profundo para lograrlo. Lo que implica una necesidad de grandes niveles de inversión para escalar en el desarrollo de tecnologías de energía limpia. Según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), esto constituye una barrera para acelerar la acción por el clima, donde el acceso y el costo del capital es uno de los principales desafíos que deben ser gestionados. En particular en los países en desarrollo.

Por otro lado, el Consejo de Hidrógeno (Hydrogen Council)⁵ en informe elaborado en conjunto con la firma McKinsey & Company (2024), denominado “Hydrogen Insights 2024” sostiene que:

La cartera de proyectos se ha multiplicado por siete desde 2020, *(pasando)* de 228 proyectos a 1.572 proyectos; en mayo de 2024, también ha madurado, con un fuerte enfoque en hacer avanzar los proyectos hacia la ejecución. En particular, los proyectos de hidrógeno limpio que alcanzaron la FID⁶ también han visto un aumento de siete veces en la inversión comprometida, pasando de aproximadamente 10 mil millones de dólares en 102 proyectos en 2020 a unos 75 mil millones de dólares en 434 proyectos en 2024.

⁵ Iniciativa global lanzada en el Foro Económico Mundial de Davos en enero de 2017, liderada por directores ejecutivos de 140 empresas multinacionales que representan toda la cadena de valor del hidrógeno, con el objetivo de que el hidrógeno acelere la transición a la energía limpia

⁶ FID es la abreviatura en inglés de “Decisión Final de Inversión”

Europa precisa hidrógeno verde para satisfacer sus necesidades energéticas

En la COP 25 desarrollada en Madrid en diciembre de 2019, Ursula Von der Leyen (presidenta de la Comisión Europea), presentaba en sociedad el denominado “European Green Deal”⁷. La meta principal de este tratado era transformar a Europa en el primer continente climáticamente neutral para 2050.

En el mismo acto, anunció la provisión de un trillón de euros en la siguiente década, para el financiamiento de la investigación, innovación y desarrollo de tecnologías verdes que hiciera posible el logro de este objetivo.

En 2020, Europa importaba el 90 % del gas natural y el 80 % del petróleo que consumía, siendo Rusia el principal proveedor de más de la mitad de los combustibles fósiles sólidos (54 % del carbón y 29 % del petróleo), así como del 43 % del gas natural importado (Consejo Comisión Europea, 2020).

En 2021, a raíz de los conflictos bélicos entre Rusia y Ucrania, así como los generados en Medio Oriente, Europa quedó expuesta a una vulnerabilidad muy importante en su seguridad energética. De igual manera al incremento de costos de acceso a los combustibles fósiles. Además, debido a su escasez, se dispararon los precios en el mercado de energías.

En respuesta a esta situación, en mayo de 2022 surge “REPowerEU”⁸, un plan para “poner fin” a la dependencia de la UE de los combustibles fósiles que, entre otras medidas, fija para 2030 una producción anual de hidrógeno verde de 10 millones de toneladas (European Commission⁹, 2022). Otro tanto, deberá ser importado, ya que no cuentan con capacidad de producirlo.

Es este el momento donde el hidrógeno verde tiene su punto de inflexión en cuanto al impulso para su uso. Así comienzan a multiplicarse los casos de negocio a nivel global, pasando de una etapa de investigación y prefactibilidad, a su desarrollo a nivel industrial. Asimismo, estudios posteriores, posicionan a la Unión Europea como importador neto de hidrógeno verde, ya que su potencial de producción se ve ampliamente superado por las proyecciones de demanda de energía existentes, tal como se muestra en la figura a continuación, elaborada por el Consejo Mundial de Energía:

⁷ Pacto Verde Europeo

⁸ REPowerEU: nombre del plan de la Unión Europea para reducir rápidamente su dependencia de los combustibles fósiles rusos y avanzar con rapidez en la transición hacia energías limpias.

⁹ Comisión Europea

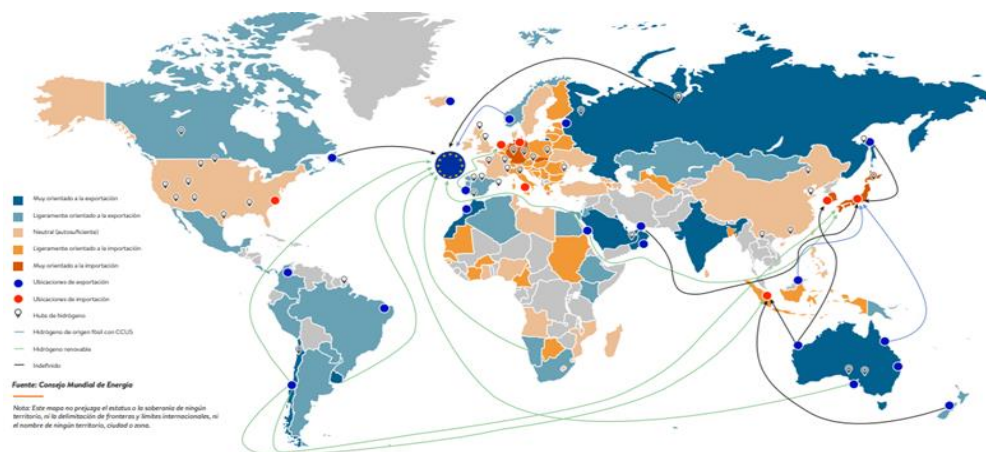


Figura 1. Mapa de la dinámica potencial de la importación/exportación de hidrógeno bajo en carbono al 2040.

Fuente: Consejo Mundial de Energía.

Es así que se estima que al menos la mitad de los requerimientos de hidrógeno verde de la Unión Europea serán importados. Por este motivo, representantes de la Unión Europea (y otras potencias tales como Japón y Corea del Sur), han salido por el mundo a cerrar acuerdos energéticos con otros países, tal como lo muestra el siguiente gráfico del año 2022 del Consejo Mundial de Energía:

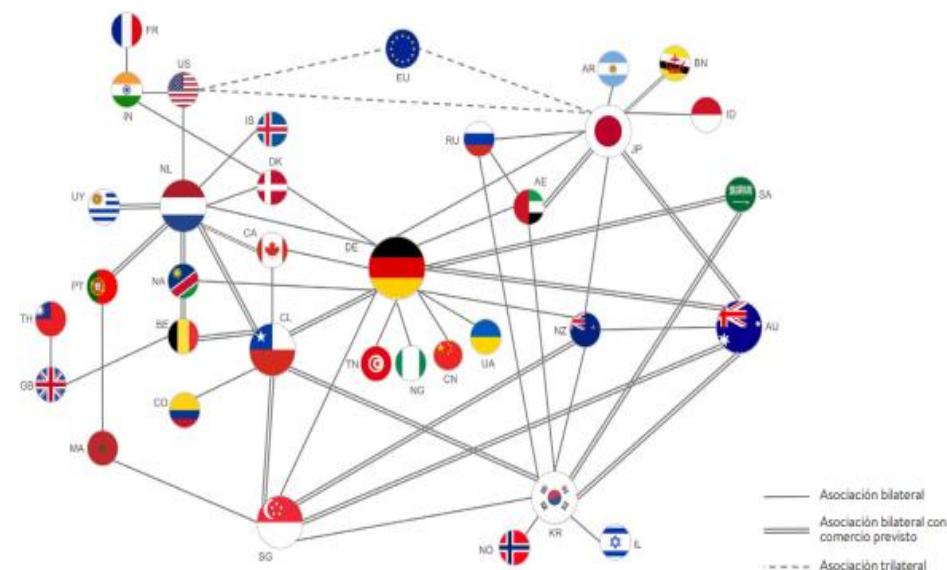


Figura 2. Situación de las asociaciones bilaterales.

Fuente: Consejo Mundial de Energía.

De esa forma, aseguran el abastecimiento de este vector energético, diversificando proveedores en distintas locaciones y por ende, distribuyendo el riesgo de suministro.

El crecimiento de las energías renovables implica excedentes que deben poder almacenarse

Según un estudio recientemente publicado por (Datacenterdynamics, 2024), las energías renovables han tenido un fuerte crecimiento a nivel global, destacándose los siguientes aspectos:

La energía renovable ha irrumpido con fuerza en el panorama energético global, marcando hitos y transformando el mapa de la generación de electricidad en todo el mundo. Con un aumento sin precedentes del 50 % en las adiciones anuales de capacidad renovable, 2023 consolidó su posición como un año récord en el crecimiento de estas fuentes. Desde Europa hasta Brasil, el impulso hacia las energías renovables ha alcanzado niveles históricos.

Según un informe de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), el incremento anual global de la capacidad de energía renovable alcanzó casi los 510 gigavatios (GW) en 2023, marcando la tasa de crecimiento más rápida en las últimas dos décadas.

El panorama energético mundial se transformará completamente para 2028. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, el mundo está en camino de agregar más capacidad renovable en los próximos cinco años que la instalada desde que se construyó la primera planta de energía renovable comercial hace más de 100 años. La energía solar fotovoltaica y la eólica representarán el 95 % de la expansión renovable global, beneficiándose de costos de generación más bajos que las alternativas tanto fósiles como no fósiles. (Datacenterdynamics, 2024)

A nivel mundial se proyecta concretar algunos hitos:

- En 2024, se prevé que la energía eólica y solar fotovoltaica generen conjuntamente más electricidad que la hidroeléctrica.

- Para 2025, se proyecta que las energías renovables superen al carbón para convertirse en la mayor fuente de generación de electricidad.
- La electricidad generada por la energía eólica y la solar fotovoltaica superará la generación nuclear en 2025 y 2026, respectivamente.
- Para 2028, se estima que las fuentes de energía renovable representarán más del 42 % de la generación mundial de electricidad, con la participación de la energía eólica y la solar fotovoltaica duplicándose al 25 %. (Datacenterdynamics, 2024)

Pero la energía renovable implica que en diferentes estaciones del año tendremos excedentes y en otras faltantes. Por lo tanto, se necesita habilitar el almacenamiento de ese recurso energético sobrante para estar en condiciones de poder utilizarlo cuando la demanda así lo requiera. Y el hidrógeno verde y sus derivados surgen como la solución para la gestión eficiente de este tema, ya que a través del proceso de electrólisis podemos almacenar esa energía excedente en forma de hidrógeno y utilizarla cuando sea necesario.

Existen exportadores netos que pueden satisfacer la demanda de países catalogados como importadores netos

Uruguay está frente a la oportunidad de convertirse en exportador neto de combustibles verdes para el mundo.

De acuerdo con la Hoja de Ruta del Hidrógeno verde en Uruguay, Corea del Sur, Japón, Alemania y China se posicionan como países importadores netos de hidrógeno. Y Uruguay, alcanzaría costos de producción que le permitirían hacerlo de manera competitiva entre otros exportadores netos tales como Chile, Arabia Saudita, Omán, Namibia o Australia (MIEM, 2022).

¿Es la distancia con Europa una barrera para Uruguay? Aparentemente no. Tenemos firmado un acuerdo energético con Alemania (MIEM, 2023b) y un Memorándum de Entendimiento con el Puerto de Rotterdam (que se proyecta como uno de los principales puntos de ingreso de combustibles sintéticos a Europa) (MIEM, 2023a). Asimismo, existen varios y millonarios proyectos de inversión en materia de producción de hidrógeno verde y derivados ya anunciados en Uruguay, que se encuentran en diferentes etapas de desarrollo. Entre esos proyectos se destacan: HIF Uruguay (Localizado en el Departamento de Paysandú para la producción de combustibles verdes a partir de hidrógeno verde y biomasa), proyecto Tambor de la firma alemana ENERTRAG (situado en

el Departamento de Tacuarembó para la producción de e-metanol a partir de hidrógeno verde) y el proyecto Khairos (ubicado en el Departamento de Fray Bentos, comprende una planta para la producción de hidrógeno verde y derivados con el fin de contribuir a la descarbonización del sector forestal y de la celulosa, a través de su uso en camiones de transporte de carga pesada).

¿Cómo está posicionado Uruguay ante la oportunidad que ofrece el hidrógeno verde?

Uruguay se encuentra cursando su segunda transición energética. La primera fue la exitosa transformación de la matriz eléctrica del país, que en la actualidad supera en más del 90 % la generación a partir de renovables (MIEM, 2024c). En Uruguay, hemos alcanzado una tasa de electrificación urbana y rural del 99,9 % (MIEM, 2024b). Ahora la segunda transición energética en la que estamos embarcados, apunta a la descarbonización de otros sectores de la economía, de difícil electrificación, tales como el transporte de carga pesada de larga distancia, la industria y el agro.

Uruguay diseñó una política pública en materia energética, que se encuentra vigente desde el año 2008 y hasta el 2030 (MIEM, 2024a). Cuenta con el respaldo de todos los partidos políticos con representación parlamentaria. Esto ha brindado estabilidad y una clara dirección a seguir, descalzada de los ciclos electorales, ofreciendo un panorama de inversión adecuado para el desarrollo del mercado.

La oportunidad es inmejorable, ya que:

La independencia energética que traerá aparejada la producción de H₂, impactará en nuestra soberanía al dejar de depender (*exclusivamente*) del petróleo, así como en la calidad de vida de la ciudadanía. Esto debido a la mayor accesibilidad que una reducción sustancial de costos puede implicar a partir de la incorporación del H₂ a la matriz energética uruguaya. Asimismo, se incrementarían los ingresos de divisas en un escenario de exportación de H₂, impactando en el incremento del Producto Bruto Interno (PBI) del Uruguay y en el valor agregado la producción nacional. (Gnazzo, 2022)

Sumado a lo expuesto, las condiciones de seguridad jurídica, estabilidad política y económica, posición geográfica privilegiada y política de promoción de inversiones son un diferencial importante para nuestro país. También lo son la disponibilidad del recurso solar, eólico y así como de agua (en particular la

amplia plataforma marítima disponible para producción off-shore¹⁰). Todas ellas muestran a nuestro país con inmejorables condiciones para su posicionamiento como exportador neto de hidrógeno verde y sus derivados.

Conclusiones

El posicionamiento de Uruguay como potencial exportador neto de hidrógeno verde y sus productos derivados tales como combustibles verdes, fertilizantes, reducción de mineral de hierro para la fabricación de acero (DRI), entre otros, es indiscutido.

Basados en la información expuesta precedentemente, cualquiera de los escenarios proyectados en materia de crecimiento económico global, implicará un incremento forzado del consumo energético mundial. Hasta ahora, este aumento ha estado ligado a un mayor uso de combustibles fósiles. Pero, según la Agencia Internacional de Energía, esta situación se está revirtiendo.

Ya se observan fuertes señales de avance global en materia de transición energética alentada por el incremento en el uso de paneles solares, vehículos eléctricos, baterías y bombas de calor. Y como resultado, se está moviendo la inversión hacia las energías limpias. Entre ellas, el Hidrógeno Verde y sus derivados, lo que representa una oportunidad para nuestro país. No sólo para aumentar su Producto Bruto Interno (PBI) y diversificar su portafolio de productos de exportación. Sino también, la oportunidad de industrializar su economía agregando valor a lo largo de toda su cadena de producción.

Sin embargo, existen diversos desafíos que deben ser atendidos a efectos de fortalecer el posicionamiento de Uruguay en la nueva Economía del Hidrógeno Verde:

Asegurar la demanda de los derivados del hidrógeno con potencial de exportación (amoníaco y metanol verdes, combustibles sintéticos, entre otros) a nivel global resulta fundamental para hacer viables los proyectos. Fomentar la innovación, investigación y desarrollo de nuevas tecnologías bajas en emisiones de carbono que contribuyan al desarrollo de la industria.

La adecuación y/o ampliación de la infraestructura portuaria existente, la de sus accesos terrestres, así como la requerida para la transformación y almacenamiento de energía (Power to X) resultan también indispensables para el desarrollo de una Economía del Hidrógeno Verde y sus derivados. Pero implicará un importante esfuerzo de inversión para el país.

¹⁰ Costa afuera. Es común encontrar la expresión escrita en idioma inglés en la literatura relacionada con el tema.

Nuevamente se plantea la importancia de contar con un puerto de aguas profundas, cuya viabilidad económica puede ser justificada partir de esta nueva industria y sus derivados, especialmente si prospera la producción costa afuera.

La creación de un sistema de incentivos específico para proyectos de hidrógeno verde que complemente la Ley de Promoción de Inversiones existente, debería contribuir a la gestión del financiamiento de los proyectos y como mecanismo de mitigación de los riesgos asociados a una nueva industria que se encuentra en sus primeras etapas de desarrollo.

La capacitación (especialmente a nivel técnico) y la reconversión de algunos sectores (adaptación de motores vehiculares, por ejemplo), debe potenciarse. Lo mismo sucede con el desarrollo de la diplomacia del hidrógeno, ya que debemos fortalecer nuestro posicionamiento internacional como exportadores netos de este vector y sus derivados.

El acceso a financiamiento de largo plazo y el diseño de nuevos modelos de negocio, son algunos de los dolores de crecimiento que también estamos experimentando en el desarrollo de esta industria.

Pero también debe reconocerse que las oportunidades son enormes y debemos prepararnos para ello. Y a esos efectos, se requiere que los gobiernos implementen mecanismos de riesgo compartido que catalicen las inversiones necesarias, como forma de mitigar esta barrera. Ejemplos de ello podrían ser las asociaciones público-privadas, contratos de prospección para producción de hidrógeno costa afuera, factores de ponderación diferenciales para este tipo de proyectos en los sistemas de promoción de inversiones existentes. Entre otros mecanismos de mitigación de riesgo que atraigan inversión extranjera directa que hagan posible su el crecimiento de la industria. Sin dudas, se requerirá un desarrollo normativo específico para potenciar su implementación. Pero Uruguay es el único país de la región que cumple con todas las condiciones requeridas para lograr un fuerte posicionamiento como exportador neto de Hidrógeno Verde y sus derivados. Esto incluye estabilidad política y económica, confianza en las instituciones, y cumplimiento de las reglas de derecho. Además, cuenta con una adecuada complementariedad de recursos solar y eólico, agua y una plataforma marítima con un enorme potencial de aprovechamiento. Sumado a lo anterior, una matriz eléctrica descarbonizada.

Asimismo, se han firmado acuerdos con Alemania, Corea del Sur y Japón, todos ellos importadores netos, que pronostican un interés en nuestro potencial de producción.

Por todo lo anterior, sumado a los factores que favorecen la demanda global de este energético y sus derivados, es factible afirmar que, superados los desafíos anteriormente mencionados, están dadas las condiciones para el desarrollo de una economía del Hidrógeno Verde y derivados en Uruguay.

Referencias

- Consejo Europeo y Consejo de la U E. (2024). ¿De dónde procede la energía de la Unión Europea [Publicación en sitio web oficial]. Recuperado de <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/where-does-the-eus-energy-come-from/#:~:text=Rusia%20es%20el%20principal%20proveedor,natural%20importado%2C%20proven%3%ADa%20de%20Rusia.>
- COP28. (s.f.). Conclusiones de la COP28. Recuperado de <https://www.pactomundial.org/noticia/cop28-el-inicio-del-fin-de-los-combustibles-fosiles/#conclusiones-de-la-cop28>
- Datacenterdynamics. (2024) ¿Cómo están evolucionando las energías renovables en el mundo? [Publicación en sitio web]. Recuperado de <https://www.datacenterdynamics.com/es/features/como-estan-evolucionando-las-energias-renovables-en-el-mundo/>
- Enerdata. (2024). Consumo Energético total [Publicación en sitio web]. Recuperado de <https://datos.enerdata.net/energia-total/datos-consumo-internacional.html>
- European Commission. (2022). REPowerEU. Affordable, secure and sustainable energy for Europe. Recuperado de https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en
- Gnazzo Laplume, A. A. (2022). *Análisis del desarrollo del hidrógeno verde en Uruguay con herramientas FODA y FAR* (Trabajo de Maestría en Estrategia Nacional). Centro de Altos Estudios Nacionales (CALEN), Montevideo.
- Hydrogen Council, McKinsey & Company. (2024). Hydrogen Insights Report 2024. September 17, 2024. [Publicación en sitio web]. Recuperado de: <https://hydrogencouncil.com/en/global-hydrogen-industry-reports-75-billion-in-committed-capital-but-climate-targets-at-stake-due-to-project-delays/>

- Iberdrola. (s.f.). El hidrógeno verde: una alternativa para reducir las emisiones y cuidar nuestro planeta [Publicación en sitio web]. Recuperado de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>
- International Energy Agency (IEA). (2023). *World Energy Outlook 2023* (Informe Técnico 2023) [Archivo electrónico]. Recuperado de <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023/context-and-scenario-design#abstract>
- International Energy Agency (IEA). (2022). Global Hydrogen Review (Informe Técnico 2022) [Archivo electrónico]. Recuperado de: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>
- Markets and Markets. (27 de 08 de 2024). Green hydrogen market [Publicación en sitio web]. Recuperado de https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/green-hydrogen-market-92444177.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw8rW2BhAgEiwAoRO5rCEpdR012uwpZNCUVX_wS1z5ZGz0hFzjnvsoLvQ5Ziy1OT1GYwUtBoCNwQQAvD_BwE
- Ministerio de Industria Energía y Minería (MIEM). (2022). Hoja de Ruta del Hidrógeno verde en Uruguay [Archivo electrónico]. Recuperado de https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/noticias/H2_final_14jul22_digital.pdf
- Ministerio de Industria Energía y Minería (MIEM). (2023a). Firma de Memorándum de entendimiento (MOU) con el puerto de Róterdam [Publicación en sitio web]. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/politicas-y-gestion/convenios/uruguay-alemania-acuerdan-cooperar-para-promover-transicion#:~:text=Uruguay%20y%20Alemania%20firmaron%20este,fuentes%20renovables%20y%20combustibles%20alternativos.>
- Ministerio de Industria Energía y Minería (MIEM). (2023b). Misión Oficial. Uruguay y Alemania acuerdan cooperar para promover la transición energética. [Publicación en sitio web]. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/uruguay-alemania-acuerdan-cooperar->

- para-promover-transicion-energetica#:~:text=Uruguay%20y%20Alemania%20firmaron%20este,fuentes%20renovables%20y%20combustibles%20alternativos
- Ministerio de Industria Energía y Minería (MIEM). (2024a). Política Energética 2005-2030 [Publicación en sitio web]. Recuperado de <https://www.eficienciaenergetica.gub.uy/documents/20182/22528/Política+Energética+2005-2030/841defd5-0b57-43fc-be56-94342af619a0>
- Ministerio de Industria Energía y Minería (MIEM). (2024b). Series estadísticas de energía eléctrica. [Publicación en sitio web]. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/datos-y-estadisticas/datos/series-estadisticas-energia-electrica>
- Ministerio de Industria Energía y Minería (MIEM). (2024c). Uruguay logra más de 90% de energías renovables en la matriz eléctrica en un contexto de más de tres años de sequía [Publicación en sitio web]. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/comunicacion/noticias/uruguay-logra-90-energias-renovables-matriz-electrica-contexto-tres-anos#:~:text=En%20lo%20que%20refiere%20a,%25%20y%2090%25%2C%20respectivamente.>
- UnivDatos. (2024). Mercado del hidrógeno verde: análisis actual y pronóstico (2023 – 2030) [Publicación en sitio web]. Recuperado de [https://univdatos.com/es/report/green-hydrogen-market/#:~:text=Respuesta%3A%20El%20mercado%20del%20hidr%C3%B3geno,previsto%20\(2023%2D2030\).](https://univdatos.com/es/report/green-hydrogen-market/#:~:text=Respuesta%3A%20El%20mercado%20del%20hidr%C3%B3geno,previsto%20(2023%2D2030).)
- Uruguay XXI. (2023). Energías renovables en Uruguay (Informe sectorial s.n.) [Publicación en sitio web]. Recuperado de [https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/79870b5679e4f9634944f6b8daca8ee6c3d45df.pdf#:~:text=MATRIZ%20ELÉCTRICA%3A,la%20tradicional%20hidroeléctrica%20\(45%25\)](https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/79870b5679e4f9634944f6b8daca8ee6c3d45df.pdf#:~:text=MATRIZ%20ELÉCTRICA%3A,la%20tradicional%20hidroeléctrica%20(45%25))
- World Energy Council (WEC). (2022). *Perspectivas de la energía en el mundo. Perspectivas regionales sobre el despliegue a escala del hidrógeno con bajas emisiones de carbono* (Sumario ejecutivo) [Publicación en sitio web]. Recuperado de [Spanish_Regional_Insights_into_Low-Carbon_Hydrogen_Scale_Up_WE_Insights.pdf](#)

