

Hidrógeno verde: Creación de una visión de prosperidad compartida y sostenible

H2 Perú, Asociación Peruana de Hidrógeno, promueve el hidrógeno verde como una oportunidad para el país de descarbonizar, diversificar y dinamizar la economía nacional.

Introducción

Después de la publicación en agosto 2021 del 6to reporte del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) sobre el cambio climático, no cabe duda de que la humanidad está experimentando las consecuencias de los modelos de producción y consumo utilizados desde la Revolución Industrial.

El Acuerdo de París adoptado en la Conferencia sobre el Clima de París (COP21) en diciembre de 2015 establece como meta limitar el calentamiento global a 1,5 °C. En este contexto, el Perú, se ha comprometido a que sus emisiones netas de gases de efecto invernadero no excedan las 208,8 Mt CO₂eq en el año 2030 (meta no condicionada) y podrían alcanzar un nivel máximo de 179,0 MtCO₂eq en 2030, en función a la disponibilidad de financiamiento externo internacional y a la existencia de condiciones favorables (meta condicionada)¹.

En materia de adaptación al cambio climático, el Estado Peruano se compromete a contribuir a la meta global de adaptación y a su vez, contempla aprovechar las oportunidades que ofrece el cambio climático para un desarrollo sostenible y climáticamente responsable².

En el Perú aproximadamente el 66% de las emisiones de CO₂ son producidas por actividades relacionadas con el uso de la tierra como agricultura, silvicultura y emisiones directas de suelos gestionados, seguido por el sector transporte (el cual incluye el transporte aéreo, terrestre, naval y ferroviario) con un 10%, el sector industrial con un 9% (incluyendo industrias energéticas, manufactureras, de construcción, y procesos industriales y usos de productos) y otros con el 15%³.

Sobre la matriz energética, la producción primaria del Perú está compuesta aproximadamente por 58.5 % gas natural, 11.4% líquidos de gas natural, 10.7% hidroenergía, 8.5% petróleo crudo, 7.5% leña, 0.3%

solar, 0.5% eólico y 2.6% otros. Cabe resaltar que, en el consumo final por sectores, los hidrocarburos líquidos son la fuente más consumida, siendo el sector de transporte el de mayor uso con un 78%, luego el residencial con 9% y por último la industria con 6% del total de los hidrocarburos líquidos⁴.

En paralelo, es clave resaltar que el Perú es un país que cuenta con abundantes recursos energéticos renovables de clase mundial, que pueden ser desarrollados con tecnologías de muy bajo costo como la eólica y solar. De acuerdo con el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), el potencial eólico del país llegaría a 22 432 MW, el potencial hidroeléctrico a 60 000 MW, el potencial solar con una potencia promedio de entre 5,5 a 6,5 kW por metro cuadrado en la zona sur del Perú y el potencial de geotermia estará por encima de los 3 000 MW.

En este contexto, el hidrógeno verde es considerado hoy como una pieza clave de la descarbonización de gran escala.

I. El hidrógeno verde

El hidrógeno es el elemento más abundante del universo: es gas constituyente del sol y se encuentra en la Tierra, unido a otras sustancias como el carbono, formando hidrocarburos; o el oxígeno, formando el agua. Asimismo, el hidrógeno gaseoso no se encuentra – o casi, de forma natural en nuestra atmósfera: debe extraerse de las moléculas que lo contienen, como el agua.

El proceso de producción de hidrógeno puede variar ampliamente y se identifica con un color diferente según la fuente energética utilizada en su producción. Los tres “colores” principales disponibles para la industria son gris, azul y verde.

¹ Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional del Perú - Reporte de la actualización periodo 2021-2030, Gobierno del Perú

² Ibid

³ Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Año 2016, MINAM, mayo 2021

⁴ Balance Nacional de Energía 2019, MINEM, p21.

- El hidrógeno gris se genera a partir de combustibles fósiles a través de métodos de procesamiento que son muy intensivos en emisiones de carbono y aún representa la gran mayoría de la producción mundial de hidrógeno (el 95%⁵).
- El hidrógeno azul se genera a través de los mismos procesos, utilizando en este caso gas natural, pero las emisiones luego se capturan a través de captura y almacenamiento de CO₂, o captura y almacenamiento de carbono, lo que requiere la construcción de instalaciones complejas y costosas expuestas a una falta de aceptación ambiental y social.
- El hidrógeno verde es aquel que puede producirse mediante electrólisis alimentada por energía de fuentes 100% renovables, con cero emisiones de gases de efecto invernadero.

Para poder obtener hidrógeno verde del agua, se necesita llevar a cabo un proceso impulsado por energía 100% renovable, tales como, la solar, eólica o hidroeléctrica denominado electrólisis, basado en la descomposición de la molécula de agua (H₂O), en oxígeno (O₂) e hidrógeno (H₂). Luego, el hidrógeno se transforma, se comprime o se licua para su transporte y el oxígeno se libera a la atmósfera o se puede capturar y destinar a otro uso, de hecho existe un mercado para ello.

El hidrógeno verde se muestra, entonces, hoy como la mejor vía de producción sostenible para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de CO₂. Su producción requiere de una fuente de energía renovable y agua – la cual regresa a la atmósfera como vapor de agua al usar el hidrógeno, estos son recursos que no están distribuidos homogéneamente a lo largo del planeta. Estudios recientes demuestran que hacia 2050, menos del 5% del agua renovable de países latinoamericanos podría ser utilizada para la producción de hidrógeno, al tiempo que la desalinización de agua de mar se presenta como una alternativa que solo impactaría entre 1 y 3% el costo del hidrógeno producido⁶, presentándose entonces como una solución interesante. Respecto a lo anterior, Perú cuenta con 3 080 km de costa, de donde podría obtener agua para alimentar grandes plantas de electrólisis, además de que existen en desarrollo novedosos métodos de aprovechamiento de aguas residuales en la

producción de hidrógeno, aplicando así, conceptos de economía circular.

En resumen, el hidrógeno verde es un vector energético (por ser capaz de contener energía y liberarla cuando sea requerida), un combustible y materia prima. Cuando es producido a partir de energía 100% renovable, no emite gases de efecto invernadero, ni en su producción, ni en su uso.

Entonces, sus aplicaciones pueden contribuir a la reducción emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del país, fortalecer la independencia energética y mitigar los desafíos de la variabilidad de los sistemas renovables. El hidrógeno verde permite la integración sectorial, ofreciendo una alternativa limpia, sostenible y flexible para convertir energía eléctrica renovable en un portador de energía química para su uso en movilidad, energía y aplicaciones industriales de alta demanda.

II. Carrera mundial al hidrógeno verde

Múltiples Estados y grupos industriales de todo el mundo publican a diario anuncios de proyectos e inversiones en la carrera por el hidrógeno verde. El objetivo es controlar toda la cadena de valor, o al menos una parte de ella, y con eso crear nuevas capacidades locales al tiempo que descarbonizan sus operaciones. El hidrógeno verde, actualmente necesita desarrollar de forma sincronizada la oferta (producción) y la demanda (aplicaciones térmicas, transporte de carga pesada, ferroviario, marítimo, aéreo, etc.). Hoy en día, se han anunciado más de 25 estrategias nacionales y hojas de ruta para la adopción del hidrógeno, como Estados Unidos, Francia, China, etc. Otros países proyectan inversiones significativas al 2030, como Alemania que espera invertir para 2030 unos 9.000 millones de euros (10.600 millones de dólares), Francia y Portugal 7.000 millones de euros cada uno (8.250 millones de dólares), Reino Unido 12.000 millones de libras (16.500 millones de dólares) y Japón y China, 3.000 y 16.000 millones de dólares, respectivamente, para ecologizar su producción.

En Chile, el ministro de Energía, Juan Carlos Jobet, detalló el plan de acción para desarrollar este nuevo polo de progreso, el cual se estima que generará unos 100.000 empleos y US\$ 200 mil millones en inversión durante los próximos 20 años.

Colombia publica el 30/09/2021 su hoja de ruta del hidrógeno verde después de haberlo reconocido como

⁵ <https://www.irena.org/energytransition/Power-Sector-Transformation/Hydrogen-from-Renewable-Power>

⁶ Datos proporcionados por Hinicio a partir de un estudio de diagnóstico por publicar de H₂ verde en un país Latinoamericano

fuelle no convencional de energía en su Ley de Transición Energética, anunciando una inversión de US\$2.500 millones.

En Bolivia, el ministro de Hidrocarburos y Energías, Franklin Molina, informó a inicios del 2021 que su despacho impulsa un plan estratégico para la generación de hidrógeno verde con el objetivo de aumentar el potencial energético de Bolivia y contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Entre noviembre de 2019 y marzo de 2020, los analistas del mercado aumentaron la lista de inversiones mundiales previstas de 3,2 GW a 8,2 GW de electrolizadores a más tardar en 2030 (de los cuales, un 57% están proyectados en Europa) y el número de empresas que se han adherido al *Hydrogen Council* ha pasado de 13 en 2017 a 92 en la actualidad⁷.

Los mercados de producción más atractivos para el hidrógeno verde son aquellos con abundantes recursos renovables de bajo costo: solares y eólicos, principalmente. En algunas partes de Oriente Medio, África, EE. UU. y Australia, por ejemplo, hoy en día se podría producir hidrógeno verde por 3.5 a 6 USD / kg. En Europa, los costes de producción varían de 3.5 a 9.5 USD / kg. El extremo inferior de estos rangos se puede lograr más fácilmente en ubicaciones con acceso a plantas de energías renovables de bajo costo⁸.

¿Y del lado de Perú?

A nivel mundial, aproximadamente 5% del hidrógeno se produce a partir de electrólisis del agua, sin embargo la mayor parte de estas plantas son alimentadas con electricidad de la red, la cual puede tener una alta huella de carbón debido al uso de plantas termoeléctricas. En el mundo dos de las plantas más antiguas de hidrógeno verde, que actualmente siguen en operación están en Zimbabue (1975) y Perú. El propietario de la planta peruana es Industrias Cachimayo (filial del grupo Enaex), que inició su proceso de construcción en 1962 y funciona desde 1965 para la producción de amoniaco a partir de hidrógeno producido con electrólisis. Durante varios años, la producción de hidrógeno que Industrias Cachimayo realizaba era verde a través del abastecimiento de energía desde una central hidroeléctrica cercana. Es decir que Perú, a través de su industria fue un precursor, y ahora tiene la posibilidad de convertirse en un líder de la energía del futuro.

III. Hidrógeno verde pieza clave de la transición energética

El hidrógeno verde representa la mayor reserva de combustible no contaminante en el mundo y una de las soluciones para descarbonizar importantes sectores de la economía peruana como fuente primaria a través del reemplazo paulatino de los combustibles fósiles, sin embargo, el cambio no va a ocurrir de manera inmediata. El desarrollo futuro del hidrógeno verde dependerá en gran medida de los planes de apoyo a corto plazo que deberían acelerar la reducción de costos que permitan que el hidrógeno verde adquiera un rol preponderante para alcanzar los objetivos de carbono neutralidad al 2050, por lo tanto, el hidrógeno verde se irá incorporando de manera progresiva en la matriz energética del país.

La transición energética hacia la sostenibilidad es sinónimo de incremento de la competitividad, mayor productividad, y mejora de la calidad de vida para todos los peruanos. Ser parte de este proceso, genera mayor eficiencia y asegura la sostenibilidad de la sociedad a través de una economía descarbonizada.

Para lograr esa transición se debe desarrollar una nueva industria respetuosa con el medioambiente, capaz de generar nuevos empleos y competencias en el país. El hidrógeno verde se postula como uno de los pilares en la transición energética, ya que permite la electrificación y la descarbonización de múltiples industrias con altas emisiones de CO₂, al tiempo que apoya la integración sectorial (sector de la energía renovable con sectores industrial, químico, minero, siderúrgico, etc.) requerida para una economía sostenible.

El hidrógeno verde está llamado a ser el vector energético y el combustible de la transición energética y un gran aliado para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 7, 8, 9, 11, 12 y 13 de forma directa.

IV. Descarbonización economía nacional y generación de excedentes

¿Porque hablamos de un alto potencial para Perú?

⁷ Fuente: McKinsey, Hydrogen Council y Natixis

⁸ <https://www.pwc.com/gx/en/industries/energy-utilities-resources/future-energy/green-hydrogen-cost.html>

El estudio de potencial del Hidrógeno verde en el Perú⁹ señala lo siguiente:

- Las regiones norte y sur del país son los principales potenciales centros de producción gracias a sus recursos renovables, eólico en el norte, solar en el sur; así como, en la región centro principalmente por su potencial eólico en Ica. Cabe resaltar que las energías renovables de menor costo contribuyen a la competitividad del hidrógeno verde: entre el 50% y 60% de su costo total corresponde a la electricidad. En el largo plazo, dos variables tendrán un efecto significativo sobre su reducción: el incremento de la demanda industrial por este recurso y el desarrollo tecnológico, este último con una subsecuente reducción en los precios y mayores eficiencias.
- Las regiones centro y sur son los principales potenciales centros de consumo, por su huella energética y actividad, sigue la región norte por su 18% de aporte al Producto Bruto Interno (PBI) nacional.
- **En total, son potencialmente 3 hubs de hidrógeno verde que se podrían desarrollar en el país para abastecer la demanda interna y generar un nuevo mercado de exportación, en el sur donde convergen demanda y oferta, luego en el centro y en el norte.**

Por otra parte, el estudio muestra que Perú tiene el potencial de desarrollar de manera competitiva el hidrógeno verde en el mediano y largo plazo, con un LCOH (*Levelized cost of Hydrogen*) dentro de los mejores rangos internacionales, según las regiones:

- **Entre 2.51 – 5.23 USD/kg H2 en 2030**
- **Entre 1.78 – 2.48 USD/kg H2 en 2040**
- **Entre 1.13 – 1.61 USD/kg H2 en 2050**

Adicionalmente, el estudio ha analizado el potencial del hidrógeno azul y si bien los costos de producción aparecen competitivos, lo son solamente a corto plazo, rápidamente a partir del 2030 el hidrógeno verde se vuelve más competitivo, debido a los bajos precios de electricidad y a la reducción de costos de desarrollo de las tecnologías renovables no convencionales. A ello, se debe sumar la inversión consecuente que requieren las

tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ cuyo retorno en inversión solo se da a largo plazo (es decir, después que el hidrógeno verde se haya vuelto competitivo), sin olvidar que para el caso del hidrógeno azul no se elimina las emisiones de CO₂, solo las almacena, donde existe riesgo de fuga, además de riesgos de emisión de metano al momento de procesar el gas natural¹⁰.

¿Cuáles son los beneficios para el país?

El hidrógeno verde:

- Permite una **verdadera integración de renovables en todos los sectores:** Industria, Energía eléctrica, Transporte, Gas.
- Permite descarbonizar **sectores donde no es viable la electrificación** (minería, aplicaciones termales, carga pesada, etc.)
- Es una oportunidad para descarbonizar **industrias pesadas estratégicas para Latinoamérica** (minería, fertilizantes verdes, refinerías, etc.)

Los beneficios del hidrógeno verde no solo se encuentran a nivel ambiental: su rol de nuevo protagonista del sector energético implica el desarrollo de una nueva industria, donde destacan principalmente las ventajas competitivas económicas a toda escala debido a la innovación disruptiva del uso del H₂ verde, cuyas aplicaciones, buscan reemplazar en gran medida el uso de los combustibles fósiles. El hidrógeno, al ser un energético con una **cadena de valor larga** produce **mayores impactos económicos** en los países¹¹ a través de la inversión y generación de empleo directo e indirecto en toda su cadena de valor:

- **Producción:** Empieza con la definición de la fuente renovable, a cuál se utiliza para producir el hidrógeno, ya sea a través de conversiones electroquímicas, como el caso de la electrolisis y fotólisis; la conversión bioquímica, como la biofotólisis; la fermentación, para las materias primas orgánicas; y conversión termoquímica, para la biomasa.
- **Transporte:** Se incluye el almacenamiento y transporte del hidrógeno en forma gaseosa en contenedores a presión, así como su manejo en forma líquida (criogénica), a través de distintos medios, incluyendo tuberías o gasoductos, ya sea hidrógeno puro o en mezcla con el gas

⁹ Potencial del Hidrógeno verde en el Perú, realizado por ENGIE Impact para H₂ Perú, agosto 2021
https://h2.pe/uploads/20210908_H2-Peru_Estudio-final.pdf

¹⁰ Howarth RW, Jacobson MZ. How green is blue hydrogen? Energy Science & Engineering.
(<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ese3.956>)

¹¹ <https://www.4echile.cl/recursos/cadena-de-valor-h2/>

natural (aprovechando la infraestructura existente), transporte en camiones y barcos.

- **Distribución:** Se distribuye a los consumidores finales en los distintos usos del hidrógeno, tales como la generación de electricidad y calor, el almacenamiento energético, su uso en transporte, en la industria y también sus derivados como el amoníaco y los combustibles sintéticos.

Entonces, la industria del hidrógeno verde tiene el potencial de **generar nuevos empleos**, vinculando profesionales de distintas disciplinas y con experiencia en industrias como el **petróleo, el gas, la producción industrial**, dada la diversidad de usos finales. Al respecto, el desarrollo de una industria del hidrógeno verde tiene el potencial de generar como mínimo 22 mil, 87 mil y 94 mil empleos en las décadas 2020-2030, 2030-2040 y 2040-2050, respectivamente. Estas estimaciones son, en su mayoría, en base a factores de empleabilidad para países europeos OECD, por lo que se consideran el rango inferior del potencial de creación de empleo dada la mayor productividad en estos países¹².

Por ejemplo, en el caso de Chile, al considerar su productividad regional, se estima que la cantidad de empleo generado podría alcanzar los 68 mil, 251 mil, 254 mil, para las décadas 2020-2030, 2030-2040 y 2040-2050, respectivamente teniendo en la actualidad una población económicamente activa de 8'860,151 personas¹³. Estas estimaciones se basan en factores de productividad regional para el sector energía en países latinoamericanos, por lo que se considera el rango superior en la creación de empleo.

En base a estas dos referencias anteriores, se espera que el Perú pueda llegar a niveles de empleabilidad similares o mayores en el desarrollo de una industria del Hidrógeno Verde ya que cuenta con potencial renovable necesario en el corto, mediano y largo plazo y una población económicamente activa en la actualidad de 16'181,966 personas (un 82.64% mayor que Chile en la actualidad)¹⁴.

Como consecuencia, la nueva industria del hidrógeno verde será una fuerte oportunidad para nuevos empleos verdes descentralizados, en el sur y norte del país que permitirán mejorar la calidad de vida e ingresos en dichas zonas. Además, otros beneficios sociales podrían acompañar su desarrollo, como el **acceso a la**

energía eléctrica continua en comunidades rurales o el **aumento en la salud pública** (al respirar aire menos contaminado).

Igualmente, siendo una nueva industria, requerirá el desarrollo de capacidades y el fomento de la investigación científica y la innovación en centros de formación técnicos y universidades del país que podrán adquirir y desarrollar nuevos conocimientos que mejorarán la empleabilidad de los jóvenes.

Por otro lado, algunos de los países que más rápidamente se están moviendo hacia una economía del hidrógeno (**Europa, Japón, Corea del Sur**) no cuentan necesariamente con las mejores condiciones para producir hidrógeno verde de bajo costo: para un país como Perú, significa un potencial **mercado de exportación**.

V. Conclusiones y Recomendaciones

La reducción en costos y el alto potencial en energías renovables representa una oportunidad para posicionar a Perú dentro de los líderes mundiales de la producción de hidrógeno verde mejorando la competitividad del país.

El desarrollo de esta industria contribuirá a impulsar una economía respetuosa con el medioambiente, sostenible e inclusiva, teniendo los siguientes beneficios:

- **Cambio climático:** el hidrógeno verde será un vector energético con múltiples aplicaciones clave para cumplir las metas de carbono neutralidad al 2050.
- **Diversificación económica:** habilitará la diversificación productiva, la generación de nuevos empleos, y polos de inversión en las distintas regiones del Perú.
- **Desarrollo Social:** promoverá el desarrollo de competencias y capital humano, reduciendo la contaminación local y activando ecosistemas de desarrollo descentralizado.
- **Innovación:** generará oportunidades para fomentar la innovación tecnológica y la investigación académica.

Para lograr ello, se requiere:

¹²Cuantificación del encadenamiento industrial y laboral para el desarrollo del hidrógeno en Chile, (GIZ, 2020)

¹³ Población activa, total - Chile | Data (bancomundial.org)

¹⁴ Población activa, total - Perú | Data (bancomundial.org)

- **Definir una estrategia nacional y políticas públicas de promoción del hidrógeno verde en el país que estén:**
 - o Basadas en estudios sobre el potencial de desarrollo del hidrógeno con energías renovables.
 - o Alineadas con la política de reducción de emisiones del país contenida en las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) u otras estrategias de largo plazo y políticas climáticas del país.
 - o Incluyendo el hidrógeno verde como nueva medida de mitigación en las NDC
- **Establecer un marco regulatorio de incentivos económicos:**
 - o Incentivos tributarios para los equipos de nuevas instalaciones y acondicionamiento de las existentes que produzcan o utilicen hidrógeno verde (deducción de impuestos, recuperación anticipada del IGV, exoneración de aranceles y depreciación acelerada)
 - o Mecanismos de certificación de origen verde de hidrógeno.
 - o Incentivos para cambio de combustible a hidrógeno verde, focalizados en la demanda con mayor potencial de uso de hidrógeno y en la descentralización del desarrollo del hidrógeno verde.
- **Establecer el marco regulatorio técnico:**
 - o Promoción de hidrógeno verde (innovación, investigación, producción, almacenamiento, distribución y uso).
 - o Normativa para la producción, instalación, almacenamiento, transporte, distribución y uso de hidrógeno verde.
 - o Exportación de hidrógeno verde.
- **Otros mecanismos de promoción:**
 - o Implementar Pilotos.
 - o Incentivos no financieros y/o penalidades a las industrias más contaminantes.
 - o Alianzas público-privadas.
- **Realizar los diferentes estudios que sustenten las políticas, regulaciones, normativa e incentivos del hidrógeno verde tales como:**
 - o **Ámbito público:** regulación / planificación infraestructuras logísticas
 - o **Ámbito privado:** casos de negocios, oportunidades sectoriales, reducción de emisiones
 - o **Ámbito ambiental:** agua
 - o **Ámbito socio-económico:** análisis de la cadena de valor, de las competencias y proveedores a desarrollar (potencial desarrollo regional norte-centro-sur).