

¿*QUO VADIS*, HIDRÓGENO VERDE?
ESCENARIOS DE SU PRODUCCIÓN Y USO EN PERÚ
PARA UNA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA

Dorothea Hamilton

<https://orcid.org/0000-0001-7300-4350>

Facultad de Sociología, Fern Universität Hagen
Facultad de Geografía, Philipps-Universität Marburg
hamilton@geo.uni-marburg.de
dorothea.hamilton@fernuni-hagen.de

Fernando González-Hunt

<https://orcid.org/0000-0003-1821-6064>

Centro de Investigación en Geografía Aplicada,
Pontificia Universidad Católica del Perú
fgonzalez@pucp.pe

Recibido: junio, 2025.
Aceptado: septiembre, 2025.

RESUMEN

El artículo examina el avance incipiente de la producción de hidrógeno verde en Perú, en el marco de la transición energética estimulada por la descarbonización para una transición justa. Además de ofrecer una mirada técnica, se brinda una perspectiva crítica que visibiliza las tensiones estructurales, sociopolíticas y ambientales que acompañan al avance de este vector energético. Siguiendo una estrategia interdisciplinaria, se discuten los beneficios del hidrógeno verde-especialmente, su importancia para desfosilizar ramas industriales estratégicas, así como los posibles peligros asociados a la perpetuación de racionalidades extractivistas y territorialmente excluyentes. Se describe el lugar focal del sur peruano como centro exportador, y se problematiza respecto a la limitada participación ciudadana, los vacíos en la legislación, y el poder de decisión concentrado en actores privados y transnacionales. Se argumenta que, sin marcos regulatorios y mecanismos redistributivos claros y efectivos y sin una informada participación de la sociedad civil, el hidrógeno verde arriesga convertirse en una nueva forma de *extractivismo verde*. Así, se esbozan escenarios de desarrollo alternativos. A partir de ello, se realiza un llamado a reimaginar el papel del Estado, la sociedad civil, la academia, y los territorios en el camino

a una transición energética social y ambientalmente justa, y no solo funcional a esquemas corporativos y geopolíticos.

Palabras clave: hidrógeno verde, descarbonización, transición energética justa, adaptación al cambio climático, Región Arequipa.

QUO VADIS, GREEN HYDROGEN? SCENARIOS FOR ITS PRODUCTION AND USE IN PERU FOR A JUST ENERGY TRANSITION

ABSTRACT

This paper examines the incipient progress of green hydrogen production in Peru, within the framework of the energy transition stimulated by decarbonization with a focus on just transition. In addition to offering a technical perspective, it provides a critical perspective that highlights the structural, sociopolitical, and environmental tensions that accompany the advancement of this energy vector. Following an interdisciplinary strategy, the paper discusses the benefits of green hydrogen –especially its importance in decarbonizing strategic industrial branches– as well as the dangers associated with the perpetuation of extractivist and territorially exclusionary rationalities. The focus of southern Peru as an export center is described, and the limited citizen participation, vague legislation, and the concentrated decision-making power of private and transnational actors are problematized. It is argued that without clear and effective regulatory frameworks, and redistributive mechanisms, and without informed participation of civil society, green hydrogen risks becoming a new form of *green extractivism*. Thus, alternative development scenarios are outlined. Based on this, a call is made to reimagine the role of the State, civil society, universities, and territories in the path to a socially and environmentally just energy transition, and not just one that serves corporate and geopolitical purposes.

Keywords: Green Hydrogen, Decarbonization, Just Energy Transition, Climate Change Adaption, Arequipa Region.

INTRODUCCIÓN

Para enfrentar al cambio climático y sus efectos negativos en el Perú y en el planeta, el Acuerdo de París (2016) planteó el cumplimiento de objetivos a los países firmantes (Schellnhuber et al. 2016). Dentro de ellos, la descarbonización, es decir, la reducción de las emisiones humanas de carbono, es un paso crucial. Dado que la economía actual depende mayoritariamente del uso de hidrocarburos (petróleo, carbón y gas natural), es necesario transitar hacia tecnologías limpias, lo que evita una afectación a las economías nacionales. En esa línea, la adopción del hidrógeno verde constituye una estrategia central para remplazar el uso de combustibles fósiles.

El hidrógeno verde se presenta, especialmente, como prometedor para sectores en los que es dificultoso reducir la huella de carbono, como el transporte (aéreo, terrestre y marítimo), la industria (metalúrgica, química y cementera) y el almacenamiento

de energía (Ajanovic et al. 2024; BMWK 2024; Hassan et al. 2024). Este optimismo está respaldado por diversos estudios que resaltan las potencialidades del hidrógeno verde como una solución “limpia, segura y rentable” (Araníbar & Olarte 2024; Zainal et al. 2024: 3).

La Unión Europea se ha embarcado en una estrategia ambiciosa para fomentar el uso industrial del hidrógeno verde (BMWK 2024). Se estima que hacia el año 2050 se habrán destinado 470 mil millones de euros a transformar la economía a hidrógeno (Hassan et al. 2024). En este esquema, se prevé que hasta 70% de la demanda europea necesitará ser cubierta por importaciones (Bergmann et al. 2022). Además, se avizora que será suplida vía ductos desde el norte de África y por vía marítima desde Latinoamérica. Este hidrógeno arribará convertido en los así llamados *derivados*, es decir, productos químicos elaborados a base de hidrógeno verde. En países como Chile, Colombia, Uruguay y Brasil, este escenario futuro es materia de discusión en los ámbitos académicos y empresariales (LAC Green Hydrogen Action 2023). En el caso de Perú, el desarrollo de proyectos ha sido potenciado por una legislación favorable a la inversión extranjera, atraída por la alta radiación solar existente en regiones del país (Celis et al. 2022). Sin embargo, la literatura científica que discute los efectos sociales y los posibles caminos que seguirá el hidrógeno verde en el Perú es limitada y constituye un vacío que el presente artículo busca llenar.

Nuestro artículo aspira a informar a un público más amplio que el estrictamente académico, desde responsables de decisión públicos (nacionales y subnacionales) hasta líderes locales, organizaciones no-gubernamentales y actores del sector privado. Además, se busca dialogar con otros sectores sociales, interesados en una mirada integral respecto al hidrógeno verde y su desarrollo en el sur Global.

MARCO TEÓRICO: LA ESPERANZA DEL HIDRÓGENO VERDE Y SUS DERIVADOS PARA SU TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA

En los debates contemporáneos sobre el cambio climático, mucha esperanza está depositada en soluciones técnicas que, a largo plazo, puedan sustituir a las energías fósiles, entre las que destaca el hidrógeno verde. Empero, esta vía de solución no está exenta de controversia, pues es cuestionada por su tecno-optimismo subyacente (Tutton 2021). Por ejemplo, Ajanovic y colaboradores afirman que “está por verse si esto seguirá siendo un fenómeno sobrevalorado, como lo ha sido en varias ocasiones en el pasado, o si estas ideas realmente se implementarán en las próximas décadas” (2024: 2). Desde esta perspectiva crítica, se argumenta que no existe una bala de plata tecnológica capaz de resolver por sí sola el desafío de la descarbonización (Virens 2024: 4). Por un lado, se señala la ausencia de la dimensión social en este debate, incluyendo la pregunta de si el impulso al hidrógeno verde podría implicar una *economía de despojo*

(Kalt et al. 2023; Ulloa 2023). Por otro lado, se aboga por una mayor participación de los países productores en la toma de decisiones (Combariza 2024). Así, “existe un amplio consenso sobre el hecho de que el hidrógeno desempeñará un papel fundamental en la transformación de los sistemas energéticos [...] la interrogante radica en determinar cuál será dicho papel” (Vezzoni 2024: 11).

Una manera de remontar estas críticas radica en la incorporación de perspectivas enfocadas en asegurar una *transición energética justa*. Ello implicaría movernos hacia una economía con bajas emisiones de carbono que, simultáneamente, garantice que los beneficios se compartan ampliamente y que aquellos que puedan verse afectados negativamente reciban apoyo a través de medidas, como la reconversión profesional, la creación de empleo y la protección social (Piggot et al. 2019; Wang & Lo 2021). Originalmente, el término transición justa emergió para mitigar los impactos sociales negativos de la descarbonización para los trabajadores del carbón (Krein 2020), y se expandió como concepto clave para crear oportunidades justas en términos más amplios (Anderson et al. 2023). La transición energética justa se interesa por las relaciones de poder, incluyendo las relaciones coloniales (Tornel 2023), los efectos socioambientales (UN Women 2021) y sus impactos para grupos subprivilegiados, en el camino de la reestructuración hacia una economía de bajo carbono que evite reproducir “injusticias de fondo” (Tunn et al. 2024: 2).

PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Dado que este artículo busca alcanzar a un público diverso, y no necesariamente especializado, iniciamos nuestra exposición con una breve presentación sobre el hidrógeno verde, su producción y el rol de los derivados. Seguidamente, abordamos tres líneas de indagación: (1) ¿cuál es el estado actual de desarrollo del hidrógeno verde en el Perú?, (2) ¿cuán cercanamente se alinea este proceso a una transición energética justa? y (3) ¿cuáles son algunos posibles escenarios futuros de desarrollo del hidrógeno verde peruano?

METODOLOGÍA

Ontológicamente, la investigación se alinea con enfoques relacionales, que enfatizan la co-constitución entre sociedad y ambiente. Epistemológicamente, asumimos una postura interpretativa y dialógica, que conceptualiza al conocimiento como una construcción situada y relacional. Metodológicamente, seguimos una estrategia cualitativa exploratoria adecuada a la investigación de un tema novedoso (Gibbs & Flick 2018). En el curso del trabajo en Perú, realizamos 22 entrevistas semiestructuradas con expertos en Arequipa, Cusco y Lima, provenientes de la esfera política, el sector privado, la academia y la sociedad civil, sobre el uso actual y los prospectos futuros del hidrógeno

verde. Además, efectuamos una revisión sistemática de las leyes peruanas y de los planes de ordenamiento en el país.

¿QUÉ ES EL HIDRÓGENO VERDE Y CÓMO SE PRODUCE?

El hidrógeno verde ha sido descrito como la “navaja suiza de la transición energética” (Vezzoni 2024: 1) debido a su gran versatilidad y capacidad para reemplazar el uso de gas natural en sectores como el transporte (aéreo, terrestre y marítimo), la industria (metalúrgica, química y cementera) y la calefacción. Esto lo posiciona como una opción para sustituir en el largo plazo el uso de energías fósiles. Aunque la tecnología no es nueva, pues se ha utilizado durante más de 100 años, el hidrógeno se produjo históricamente empleando hidrocarburos y, más recientemente, energía nuclear.

La novedad de la propuesta actual radica en la producción *verde* del hidrógeno, es decir, aquel generado mediante plantas de energía renovable. En el pasado, esta opción no fue viable debido a la insuficiencia de dichas plantas a gran escala y a la inexistencia de un mercado dispuesto a adquirir un producto cuyo costo es superior al de su elaboración empleando fuentes energéticas no-renovables.

El hidrógeno es un gas (H_2) incoloro e inodoro y se considera un vector energético cuasi-eternamente renovable, vista la ubiquidad del agua de la cual es extraído. A diferencia de los vectores energéticos fósiles (petróleo, carbón y gas natural), su obtención no está atada a la geología. Sin embargo, el problema en su obtención radica en sus particularidades químicas, pues es un gas caracterizado por una alta inflamabilidad y difusividad; tanto la separación de otros gases como su almacenamiento son procesos complejos.

Por lo general, el hidrógeno se obtiene mediante el proceso de electrólisis del agua, que consiste en separar el compuesto del agua (H_2O) en hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2). Aproximadamente, se requieren entre 10-20 litros de agua para producir 1 kilogramo de este gas. No obstante, la separación de los componentes requiere una gran cantidad de electricidad, por lo que su viabilidad depende de la disponibilidad de energía barata. Asimismo, es precisamente el tipo de fuente de energía empleada la que le da nombre a los varios tipos de color del hidrógeno. Así, el hidrógeno marrón es obtenido empleando carbón; el gris, con gas natural; el azul, con gas natural, cuyo CO_2 asociado es capturado y almacenado; y el rosa, con energía nuclear. Para obtener hidrógeno verde, se emplean fuentes de energía renovable: solar, eólica, geotérmica o hidroeléctrica (tabla 1).

Tipo de hidrógeno	Fuente energética	Proceso de obtención
Hidrógeno marrón	Carbón	Gasificación
Hidrógeno gris	Gas natural	Pirólisis
Hidrógeno azul	Gas natural	Electrólisis y captura y almacenamiento de carbono
Hidrógeno rosa	Nuclear	Electrólisis
Hidrógeno verde	Solar, eólica, geotérmica, hidroeléctrica	Electrólisis

Tabla 1. Clasificación del Hidrógeno según la fuente de obtención.

Dado que este gas es difícil de almacenar, usualmente, se transporta a través de tuberías hasta el punto de consumo final. Para ello, se emplea la tecnología conocida como energía-a-productos (*power-to-X*). Esta innovación es central a la transición hacia una matriz energética que promueva el empleo de energías sostenibles y renovables, con un uso mínimo de combustibles fósiles. En esta perspectiva, la generación de electricidad proveniente de fuentes renovables puede ser empleada para la electrólisis del agua. Además, para producir cantidades viables a nivel industrial, las plantas de energía renovable deben ser de gran capacidad.

DERIVADOS DEL HIDRÓGENO VERDE Y SU EXPORTACIÓN

En el contexto de la producción de hidrógeno verde para un mercado exterior, los llamados *derivados* desempeñan un papel crucial (BMWK 2024). Los derivados son productos químicos que responden al desafío del transporte marítimo del hidrógeno. Estos elementos *químicos verdes* –generados a partir de hidrógeno verde– pueden ser embarcados y transportados a otros países con mayor seguridad, y, posteriormente, reconvertidos en hidrógeno en el lugar de destino. En el caso de la Unión Europea, los derivados más relevantes son el amoníaco, el metanol, la nafta y el metano sintético. Cada uno de ellos presenta características específicas (tabla 2). Por ejemplo, el amoníaco destaca, especialmente, por la facilidad que ofrece para su transporte marítimo. En el caso peruano, se priorizará la producción de amoníaco debido a la tecnología ya existente en el país y su posible doble empleo como fertilizante y como explosivo.

Derivado (fórmula química)	Estado	Uso actual	Potencial futuro
Amoníaco (NH_3)	Gas	Fabricación de fertilizantes y explosivos.	Combustible para barcos, vector para transportar hidrógeno a largas distancias y reconvertirlo en destino.
Metanol (CH_3OH)	Líquido	Combustible para barcos, químico de base.	Reducción de emisiones de carbono en el sector naviero.
Nafta (C_7H_{16} - $\text{C}_{10}\text{H}_{22}$)	Líquido	Fabricación de plásticos y combustible para aviones, craqueador a vapor para productos químicos básicos.	Materia prima para biocombustibles, queroseno sintético.
Metano sintético (CH_4)	Gas	En fase de experimentación.	Integración en infraestructuras energéticas.
Portadores Orgánicos Líquidos de Hidrógeno o LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers)	Líquido	En fase de experimentación.	Vector para el almacenamiento y transporte eficiente de hidrógeno.

Tabla 2. Características de los principales derivados del hidrógeno (BMWK 2024).

DESAFÍOS DEL HIDRÓGENO VERDE

Los principales cuellos de botella a la producción y masificación de hidrógeno verde provienen de la naturaleza física y química del gas, su demanda de recursos adicionales, los impactos ambientales, los incipientes marcos jurídicos-institucionales, y una limitada consolidación de los mercados.

Un primer reto a la producción del hidrógeno verde radica en su alta inflamabilidad y difusividad, que complejiza su almacenamiento y puede provocar explosiones. Dado que este gas es inoloro, sus fugas no son perceptibles al olfato humano. No obstante, mediante tecnologías específicas, se puede hacer esto posible. Asimismo, la producción de derivados también conlleva desafíos ambientales. Este el caso del proceso de síntesis de amoníaco-nitrato, que genera gases de efecto invernadero, especialmente óxido nitroso (N_2O), el cual tiene un potencial de calentamiento global 298 veces superior al del dióxido de carbono (CO_2). Si bien existen tecnologías para mitigar estas emisiones, todavía requieren ser implementadas a gran escala. Adicionalmente, la producción directa de hidrógeno verde y de sus derivados enfrenta una pérdida

de potencia del hidrógeno. Así, tanto la generación de derivados como su posterior reconversión (*cracking*) al llegar a los países de destino, conlleva una reducción de su capacidad energética.

Otro gran reto concierne al uso masivo de agua. La mayoría de los proyectos planean utilizar agua marina, lo que implica un proceso de desalinización. Este procedimiento genera salmuera como residuo que, si es vertida directamente al mar o en espacios continentales, puede impactar negativamente a los ecosistemas acuáticos y terrestres. No obstante, un adecuado procesamiento de este subproducto de la desalinización haría posible utilizar la salmuera para fines productivos (Kumar et al. 2019) .

Un tercer desafío es el uso intensivo de energía para la electrólisis. En el caso de energías renovables, ello demanda un extenso uso de espacio. En Perú, la generación de hidrógeno verde dependerá en gran medida de energía solar, la cual emplea paneles fotovoltaicos y baterías. Su instalación masiva en parques solares generará grandes cantidades de desechos electrónicos, para los cuales el país carece de instalaciones adecuadas de reciclaje.

Adicionalmente, persisten vacíos en las normas legales nacionales relacionadas con la distribución de ingresos, costos y responsabilidades entre los actores involucrados. Consiguientemente, está aún pendiente debatir el rol de las entidades públicas y privadas en el desarrollo de la infraestructura y el mercado del hidrógeno verde.

Finalmente, otra dificultad para la producción de hidrógeno verde es la ausencia de un mercado consolidado. Al ser más costoso que otros vectores energéticos, su desarrollo representa una inversión incierta, ya que la demanda es aún incipiente. La idea de establecer un mercado internacional de hidrógeno verde como *commodity* que regule los precios sigue siendo un objetivo a largo plazo y no una realidad concreta.

ESTADO DEL ARTE DE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO VERDE Y SUS DERIVADOS EN PERÚ

Condiciones naturales para la producción de hidrógeno verde en Perú

Las condiciones naturales para generar energía renovable y la disponibilidad de agua son dos factores clave para la producción de hidrógeno verde de manera económica. En este sentido, el Perú, gracias a su elevada irradiancia solar, los vientos favorables y su extensa área marítima, ofrece condiciones naturales excepcionales para la generación de esta energía renovable (Celis et al. 2022). No obstante, actualmente, solo el 11,25% de la electricidad en el país proviene de fuentes renovables. Las hidroeléctricas son su principal fuente (tabla 3) (fig. 1).

Recurso energético renovable	Potencia técnica aprovechable (MW)	Potencia instalada en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, SEIN (MW)	Potencia instalada porcentual (%)
Hidráulico	69.445,00	5.628,70	8,11
Eólico	20.493,00	412,20	2,01
Solar	25.000,00	282,30	1,13
Biomasa	[450-900]	70,90	7,88
Geotérmico	2.859,40	0	0

Tabla 3. Potencial de energía renovable en el Perú (MINEM 2025).

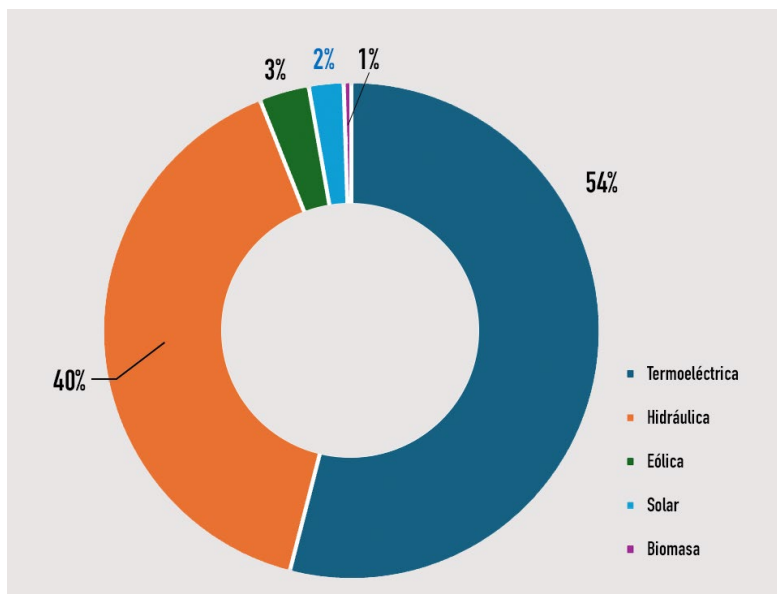


Figura 1. Fuentes de energía eléctrica en el Perú, 2022 (tomado de LAC Green Hydrogen Action [2023]).

En Perú, la generación de energía eléctrica de fuente solar se concentra en la región Arequipa, mientras que la energía eléctrica eólica proviene principalmente de la región Ica (fig. 2). Sin embargo, debido al bajo precio del gas natural en el país, el mercado no ha generado incentivos significativos para incrementar la contribución de fuentes de energía renovable. Los principales consumidores de dicha energía han sido grandes empresas, particularmente del sector minero, que buscan reducir su huella de carbono. A esta falta de disponibilidad de energías renovables, se suma la ausencia de una voluntad

política sólida para promover el desarrollo masivo de estos vectores. Algunos analistas sugieren que, detrás de esta situación, podría estar la influencia y oposición del lobby nacional del gas natural (Nuño 2021).

No obstante, las estimaciones indican que las reservas de gas natural en el Perú podrían durar, aproximadamente, 15 años más (Gestión 2024). Respecto a ello, existe un debate sobre la mejor manera de aprovechar este recurso. Por un lado, algunos sostienen que el gas debería utilizarse como un incentivo para la industrialización del país. Por otro lado, hay quienes argumentan que se debería reservar este recurso para el uso doméstico y garantizar su disponibilidad para los ciudadanos en el futuro. Finalmente, un tercer grupo sostiene que el gas natural debe aprovecharse para producir hidrógeno gris o azul de bajas emisiones (Calvo et al. 2023; Redacción Mulera 2025).

Por sus condiciones naturales favorables, se prevé que Perú pueda generar hidrógeno verde a un precio internacionalmente competitivo (tabla 4), incluso producir al costo más bajo del mundo (Atchison 2024).

Tipo	2021	2030	2050
Hidrógeno verde	4,1 - 4,2	1,6 - 5	0,9 - 4
Hidrógeno gris	1 - 2,7	1,6 - 5,4	0,5 - 6
Hidrógeno azul	1,6 - 3,2	1 - 2,2	1 - 2,2

Tabla 4. Estimación del precio de producción de hidrógeno verde en US dólares por kilogramo en Perú durante los años 2021, 2030 y 2050 (MINEM 2025).

Actores en la cadena de valor del hidrógeno verde

La cadena de valor del hidrógeno verde requiere la participación de actores diversos. En la etapa de producción, es necesario invertir en plantas de generación de energía renovable (solar, eólica, geotérmica o hidroeléctrica), así como en plantas eléctricas con electrolizadores, industrias químicas y plantas desalinizadoras. Además del sector privado, el sector público posee un rol central en la creación de condiciones favorables para que los actores privados desarrollen la infraestructura necesaria. Esto incluye inversiones en ductos y puertos para el transporte interno, y marítimo del hidrógeno y sus derivados.

Por el lado de los consumidores, se requieren empresas dispuestas a pagar un precio superior por esta energía limpia. Actualmente, los principales mercados objetivos se hallan en Europa, Japón y Corea del Sur. No obstante, su disposición a pagar precios más elevados dependerá de la situación política en sus respectivos países y de las exigencias en cumplir con acuerdos internacionales y normas nacionales relacionadas con la reducción de su huella de carbono.

En el Perú, el debate sobre la producción de hidrógeno verde aún se encuentra en una etapa inicial. El actor principal que promueve su desarrollo local es la Sociedad Peruana de Hidrógeno (H2 Perú). Su visión y objetivo es (H2 Perú 2025):

Fomentar el desarrollo de una nueva industria como la del hidrógeno verde y, de bajas emisiones, así como de sus productos derivados, respetuosa con el medioambiente, capaz de generar empleo y de inyectar nuevas competencias en el país [...] en armonía para todos.

Esta organización representa a 35 entidades privadas, tanto nacionales como internacionales, interesadas en construir un mercado de hidrógeno y generar condiciones favorables en el Perú. Además de empresas que buscan formar parte de la cadena de producción de hidrógeno verde, paralelamente, incluye a proveedores de infraestructura y plantas de energía renovable. También, la conforman futuros consumidores, entre ellos seis compañías mineras, una de transporte terrestre y una aerolínea, todas interesadas en reducir su huella de carbono.

H2 Perú no limita su enfoque al hidrógeno verde, sino que también incluye la promoción del hidrógeno gris y azul de bajo carbono. Según sus argumentos, se debería aprovechar el bajo costo del gas natural en el Perú como complemento a la producción de hidrógeno basado en plantas fotovoltaicas. Esto explica la participación de algunos actores de la industria de los combustibles fósiles en esta organización. Existen, también, actores privados que no forman parte de H2 Perú que están desarrollando megaproyectos fotovoltaicos con el objetivo de producir hidrógeno verde en el sur del país, como discutimos más adelante.

Por el lado del Estado peruano, son varias las entidades involucradas en la planificación de la futura producción de hidrógeno verde. A nivel nacional, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) juega un papel clave, visto que esta cartera tiene competencia en la aprobación de proyectos energéticos a gran escala. A nivel regional, especialmente, en el sur peruano, existen entidades subnacionales, como el Gobierno Regional de Arequipa, que buscan fomentar las energías renovables y la producción a gran escala de hidrógeno verde.

En el ámbito académico, algunas universidades están participando en investigaciones y proyectos relacionados con el hidrógeno. Las instituciones con mayor involucramiento son la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA) y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Además, existen otras iniciativas individuales lideradas por investigadores en instituciones, como la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) y la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

A futuro, es altamente previsible que surja una demanda nacional peruana de hidrógeno verde. Los principales consumidores podrían ser grandes empresas, en particular del sector minero y cementero (ASOCEM 2022). Otros usuarios potenciales provendrían del rubro del transporte (vehículos terrestres y navíos) y, posiblemente,

las fundiciones. Adicionalmente, los productores de explosivos a base de nitrato de amonio –también conocidos como ANFO (*ammonium nitrate fuel oil*)– podrían interesarse en el amoníaco verde como un insumo para su fabricación.

Dicho todo lo anterior, a la fecha, es particularmente llamativa la limitada participación de la sociedad civil en el debate sobre el futuro del hidrógeno verde en el país.

Legislación

El Perú es uno de los pocos países que cuenta con un marco normativo para el hidrógeno verde (Ley N° 31992). Su objetivo es “fomentar la investigación, el desarrollo, la producción, la transformación, el almacenamiento, el acondicionamiento, el transporte, la distribución, la comercialización, la exportación y el uso” de este gas (El Peruano 2024: 8). No obstante, a diferencia de otros países latinoamericanos, el fomento de su producción se basa en iniciativas privadas. Sintomáticamente, la denominada Ley de Fomento del Hidrógeno Verde (Ley N° 31992) fue presentada a manera de borrador por un actor privado al Congreso Peruano. Con algunas modificaciones, el proyecto se convirtió en ley en marzo de 2024. En su primera versión, esta norma definió al hidrógeno verde como “un vector energético producido con tecnologías de baja emisión de gases de efecto invernadero” que incluye el uso de gas natural para la producción del hidrógeno. Esto generó una polémica en torno al verdadero alcance de la norma y, en consecuencia, se cuestionó su alineamiento con los objetivos de la descarbonización. Posteriormente, en agosto de 2024, se logró su modificación y se definió el hidrógeno verde como “aquel obtenido del agua mediante procesos que utilizan como fuente de energía a los recursos energéticos renovables”.

En la Propuesta de Reglamento de la Ley N° 31992, introducido en enero de 2025, se distingue entre “hidrógeno verde” e “hidrógeno de bajas emisiones” (Art. 2), es decir, hidrógeno no exclusivamente basado en energías renovables (H2 Perú Asociación Peruana de Hidrógeno 2025). En el esquema propuesto, los ministerios y entidades estatales peruanas responsables son los siguientes: Ministerio de Energías y Minas (MINEM), responsable de las normas técnicas (Art. 4); Ministerio de la Producción (PRODUCE), responsable de otorgar las certificaciones ambientales (Art. 5); Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), responsable para la seguridad de las instalaciones (Art. 6.1); Ministerio del Ambiente (MINAM), responsable de la determinación de la huella de carbono (Art. 6.2); Concejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), responsable de fomentar la investigación (Art. 6.3); Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), responsable de obtener financiamiento internacional y beneficios económicos para el uso y la investigación de hidrógeno (Art. 6.4); Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), responsable de crear medidas para la seguridad de su transporte (Art. 6.5).

Por un lado, es llamativo que la Propuesta de Reglamento señale que los temas ambientales están encomendados al Ministerio de la Producción y no al Ministerio de Ambiente. Por otro lado, la norma guarda silencio sobre los beneficios para los peruanos de la producción de hidrógeno, por ejemplo, un canon de hidrógeno o el aumento en la contribución de las energías renovables al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN). Además, el cálculo sobre los posibles impactos ambientales está ausente, especialmente aquellos vinculados a la producción de amoníaco y de gases de efecto invernadero, como el óxido nitroso. Esta flexibilidad ambiental de la ley, probablemente se explica por el interés en crear un clima de inversiones atractivo a las grandes empresas.

A nivel subnacional, el Gobierno Regional de Arequipa declaró al hidrógeno verde como de interés regional en su Acuerdo Regional N° 122-2024-GRA/CR-Arequipa de Julio de 2024 (Gobierno Regional de Arequipa 2024).

Finalmente, en términos binacionales, el Perú ha suscrito entendimientos con otros países. Entre ellos, está un Memorándum de Entendimiento con el Reino Unido (Francovich 2023) y un instrumento similar con los Países Bajos (2024) (H2 Perú 2024).

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN PERÚ

Actualmente, se produce hidrógeno gris en el Perú, sobre todo en la refinería de Talara (región Piura), operada por la estatal Petroperú. Tales operaciones producen este gas para sectores tradicionales como el petroquímico y las cementeras. Estas plantas de hidrógeno gris son de modesta envergadura, comparativamente, con las futuras grandes operaciones de hidrógeno verde en el Sur Peruano, tal como se discute más adelante.

Los proyectos de hidrógeno verde en Perú se encuentran en distintas etapas de desarrollo y abarcan diferentes escalas de producción, como plantas en las regiones de Arequipa e Ica. Estos planes de acción reflejan tanto el creciente interés por posicionar al país como un actor relevante en la transición energética global como las ventajas naturales que ofrece el territorio peruano para la generación de energías renovables, específicamente la alta irradiancia solar concentrada en el suroeste del país y su adyacencia al océano Pacífico (fig. 2).

La producción de hidrógeno verde en Cachimayo, Cusco

La fábrica de fertilizantes de Cachimayo en Cusco es un precedente importante de producción de hidrógeno verde en el Perú. Este caso es frecuentemente citado como un ejemplo viable de industria química verde, lo cual le ha traído reconocimiento internacional (LAC Green Hydrogen Action 2023). Cachimayo está ubicada en la provincia

de Anta (región Cusco) y se convirtió en la primera productora de amoníaco verde en América Latina. La planta de fertilizantes fue creada en la década de 1960 como iniciativa de la cooperación alemana, en respuesta al terremoto de mayo de 1950 que afectó severamente a la ciudad del Cusco y zonas circundantes (Pinley 2022). Paralelamente, para satisfacer las necesidades energéticas de la fábrica de fertilizantes y de otros usuarios, se construyó la central hidroeléctrica de Machu Picchu, cuya primera etapa fue inaugurada en 1964 (Desde Adentro 2022; EGEMESA s.f.).

En los años de 1980, a consecuencia de la disminución del precio del nitrato como fertilizante y al auge de la minería en el país, la planta de Cachimayo diversificó su producción hacia la fabricación de explosivos a base de nitrato de amonio. En 1996, durante el proceso de privatizaciones en el Perú, la planta fue adquirida por el Grupo Gloria (Perú). Posteriormente, la fábrica fue comprada por la empresa chilena ENAEX (Empresa Nacional de Explosivos). Desde 2021, la fábrica se especializó casi exclusivamente en la producción de explosivos. Al mismo tiempo, continuó operando con energía eléctrica renovable provista por la compañía energética Grupo ENGIE (Desde Adentro 2022).

Proyectos a gran escala en la región Arequipa

Gracias a sus favorables condiciones de irradiancia solar, una amplia línea de costa, y la voluntad política del Gobierno Regional de Arequipa, el sur del país cuenta con un entorno propicio para desarrollar proyectos de hidrógeno verde a gran escala (fig. 2). Al presente, existen dos iniciativas que se están implementando en la franja costera de la región Arequipa. Ambas están en manos privadas extranjeras: por un lado, el proyecto liderado por la compañía *Phelan Green Energy* (Sudáfrica) y, por el otro, el del consorcio *Horizonte de Verano* (Estados Unidos y España) (tabla 5).

Ambos proyectos se encuentran diseñados como operaciones fuera del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional e incluyen el desarrollo integral de infraestructura: parques solares, redes eléctricas, plantas desalinizadoras de agua marina y plantas de amoníaco. En total, se estima que ambos proyectos generarán aproximadamente 500 empleos durante su fase operativa. Además, las empresas involucradas pagarán por el uso de los terrenos obtenidos en concesión.

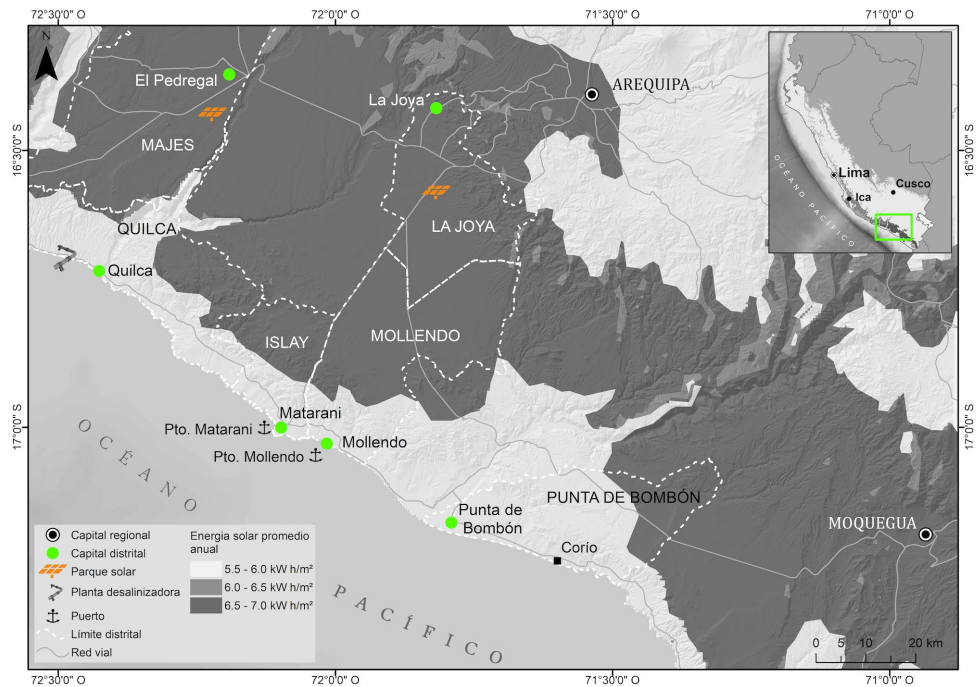


Figura 2. Zonas de influencia de los proyectos de hidrógeno verde en la región de Arequipa y en la franja de alta irradiación solar del sur del Perú (ilustración de Joseph López T.).

El proyecto operado por la compañía *Phelan Green Energy* (Sudáfrica) se encuentra en un terreno de 4000 ha en el distrito de La Joya (provincia Arequipa) y está pensado para generar 2 GW. Tiene la meta ambiciosa de “producir la energía verde más barata del mundo” (Atchison 2024: s.p.). El proyecto cuenta con el respaldo del Gobierno Regional de Arequipa y aprovechará la infraestructura existente en el puerto de Matarani (provincia Islay), así como su zona franca, para la producción y exportación de amoníaco verde. A largo plazo, se contempla la ampliación del puerto de Matarani y la construcción de un nuevo puerto en Corío (provincia Islay), mediante inversiones privadas, para optimizar las operaciones de exportación (fig. 2).

Compañía	Origen	Potencial futuro	Área de la planta	Inversión prevista
Phelan Green Energy	Sudáfrica	2 GW	4000 ha	--
Horizonte de Verano	Estados Unidos y España	6 GW	12.000 ha	11.200 millones US dólares

Tabla 5. Características de los proyectos de hidrógeno verde en la región Arequipa.

El proyecto del consorcio *Horizonte de Verano* (Estados Unidos y España) está ubicado en el distrito de Majes (provincia Caylloma). Con una capacidad proyectada de generación de 6 GW en un terreno de 12.000 ha y un costo de 11.200 millones de US dólares, está destinado a producir 1,65 millones de toneladas de amoníaco por año, lo cual lo convertiría en uno de los proyectos más grande de Latinoamérica (Gobierno Regional de Arequipa 2025). La propuesta cuenta con el respaldo del gobierno regional y, hasta marzo de 2025, se había aprobado el estudio de impacto ambiental (Gobierno Regional de Arequipa 2025; Reuters 2025). Este programa se ubica más próximo a la costa y contempla la instalación de un gasoducto que transportará el amoníaco producido hacia boyas flotantes ubicadas en el mar, desde donde será cargado directamente a buques tanqueros y exportado al exterior; de esta manera, se evitará el uso del puerto de Matarani. Está previsto que creará temporalmente 15.000 empleos en la región (Gobierno Regional de Arequipa 2025).

HALLAZGOS PRELIMINARES, ESCENARIOS Y PREGUNTAS ABIERTAS DE LAS CIENCIAS SOCIALES PARA UNA TRANSICIÓN ENERGÉTICA JUSTA EN EL PERÚ

Al presente, no se ha consolidado un mercado global para el hidrógeno verde, lo que genera incertidumbre respecto a la viabilidad de su desarrollo y escalabilidad en el futuro. Un factor clave que contribuye a esta ausencia de certeza es la evolución del mercado de carbono, el cual podría, eventualmente, inclinar el diferencial de precio entre el hidrógeno verde y el hidrógeno gris. No obstante, la volatilidad en los precios de los combustibles fósiles y la ausencia de un marco comercial global armonizado plantean interrogantes significativas sobre la factibilidad económica de una producción a gran escala de hidrógeno verde en el corto y mediano plazo. Diversos estudios estiman que podrían transcurrir al menos 10 años antes de que este gas alcance una competitividad en costos comparable a la de sus alternativas convencionales (Ueckerdt et al. 2024). Dado que el estado del mercado de este vector se halla en una fase inicial, las ciencias sociales tienen ante sí varias áreas de indagación y reflexión en la perspectiva de contribuir a una transición energética justa.

Participación ciudadana, beneficiarios y distribución de ingresos

De momento, la producción de hidrógeno verde a gran escala en el Perú está pensada para la exportación al extranjero. Algunos consideran que esta estrategia es un requisito para incentivar la creación de un mercado global para el hidrógeno verde y una posibilidad para impulsar un desarrollo industrial descentralizado en el Perú, mientras que otros la consideran una repetición de patrones extractivistas (Tunn et al. 2024: 2). En este contexto, es importante resaltar que la discusión presente sobre el futuro del hidrógeno

en el Perú ocurre sin mayor participación ciudadana. Así, no existe un debate amplio sobre la posible producción y uso del gas y sus beneficios para los peruanos.

Claramente, aún falta una legislación que permita que más personas se beneficien directa o indirectamente de la producción de hidrógeno en el país. Actualmente, prevalece una visión neoliberal que sostiene que las comunidades cercanas a los proyectos se beneficiarán a través de la creación de empleos y los impuestos generados. Sin embargo, no existe un canon similar al de la minería que permita que las zonas más alejadas o menos favorecidas reciban beneficios generados por la industria del hidrógeno verde.

En este contexto, es importante señalar que los proyectos están pensados, principalmente, para ubicarse en la costa, lo cual facilita la exportación y el acceso al agua marina necesaria para la producción de hidrógeno. Esto plantea la pregunta de cómo podrán beneficiarse las personas de las regiones andinas o amazónicas del desarrollo de la industria del hidrógeno si los principales proyectos se encuentran alejados de tales zonas.

En el contexto de lo señalado surgen entonces algunas preguntas que quedan para una indagación futura: ¿qué medidas existen para beneficiar a más peruanos de los ingresos del hidrógeno verde?, ¿cómo pueden aprovechar las regiones del sur peruano, incluyendo los Andes y la Amazonía, de esta tecnología al mediano plazo?, ¿qué medidas legislativas se necesitarían formular para una distribución justa de las rentas?

Mitigación de conflictos socioambientales

Si los proyectos de hidrógeno verde prosiguen tal como lo estiman sus impulsores, el sur peruano podría albergar diversos parques solares, plantas de desalinización y plantas de amoníaco en un futuro próximo. Esto tiene el potencial de generar conflictos socioambientales significativos. Dado el alto consumo de agua que implica la producción del gas, estos desarrollos podrían intensificar posibles disputas por el acceso a este recurso esencial. Además, existe el riesgo de perpetuar sistemas injustos de distribución de energía, que podrían profundizar desigualdades existentes. Es concebible que, al igual como ocurrió con el gas natural, la energía producida sea destinada principalmente a la exportación, mientras las poblaciones locales seguirán enfrentando escasez energética o precios prohibitivamente elevados (Millán 2025).

Asimismo, las plantas desalinizadoras generan como residuo la salmuera, que, en teoría, puede ser utilizada como materia prima para productos como la sal o fertilizantes (Kumar et al. 2019). Sin embargo, de optarse por verter la salmuera directamente al mar, se alterarán los niveles de salinidad y, en consecuencia, al ecosistema marino. Tal impacto podría afectar a poblaciones costeras que dependen de la pesca artesanal para su sustento.

Interrogantes para indagación futura serían: ¿de qué manera se puede mitigar desde ahora los conflictos socioambientales asociados al desarrollo del hidrógeno verde? y ¿cómo se puede integrar el hidrógeno verde en un modelo de economía circular que aproveche los residuos generados, como la salmuera, para crear empleos directos?

Industrialización o extractivismo

Actualmente, se discute si el hidrógeno verde debería ser destinado al consumo nacional en lugar de a la exportación. Mientras algunos actores critican la reproducción de los patrones extractivos típicos del sector minero –es decir, la extracción de recursos sin agregar valor dentro del país (la llamada enfermedad holandesa)–, otros lo ven como una oportunidad para la industrialización nacional. Hay voces que consideran que una parte de la producción futura del gas podría destinarse a sectores nacionales, como operaciones mineras, cementeras o plantas de fundición. Sin embargo, hay quienes opinan que el costo para los consumidores peruanos será demasiado alto y argumentan que se debería seguir aprovechando el gas natural, que actualmente sigue siendo más económico, aunque reconocen su horizonte finito. El precio del hidrógeno verde dependerá en gran medida de la existencia de un mercado global, pero también de la ubicación de sus consumidores. En Europa, el precio podría rondar los 10 US dólares por kilogramo, mientras que en el Perú se estima que el costo podría ser menos de 2 US dólares por kilogramo en 2050 (H2 Perú. Asociación Peruana de Hidrógeno 2025).

Además, debido a las condiciones favorables de radiación solar en el sur peruano, los propulsores del hidrógeno verde sostienen que la región tiene el potencial de atraer industrias que se beneficiarán del bajo costo de esta energía verde. Así, el sur del país podría convertirse en un núcleo o nodo para las industrias verdes, lo cual impulsaría una economía basada en energías renovables y en la producción de hidrógeno, lo que genera empleos y oportunidades a largo plazo.

Interrogantes para indagación futura serían: ¿cómo se puede utilizar el hidrógeno verde para fomentar la industria nacional?, ¿qué posibilidades técnicas existen para la producción y uso del hidrógeno verde a pequeña y mediana escala y cómo pueden expandirse?, ¿dónde se ubican otros proyectos orientados a aumentar el porcentaje de energía renovable?

¿Un hidrógeno verde, verdoso o gris?

Una interrogante central atañe al color del hidrógeno que producirá el Perú. Por razones técnicas y debido al bajo precio del gas natural, sería muy tentador adicionar electricidad proveniente del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional a la producida por paneles solares con el fin de reducir los costos y elevar la producción del hidrógeno. Visto que es técnicamente importante mantener el funcionamiento constante de los electrolizadores

en las plantas de producción, resulta más barato emplear electricidad convencional que la energía solar almacenada en baterías. En este caso, ya no estaremos frente a un hidrógeno verde, sino ‘verdoso’ o hidrógeno de bajas emisiones.

Adicionalmente, es concebible que, en un futuro mediano, la actual red de gasoductos en Perú sea modificada para el transporte del hidrógeno. Este es un escenario ante el cual el poderoso lobby del gas se opondría. Mientras H2 Perú y otros actores apuestan a un hidrógeno con bajas emisiones, los dos proyectos reseñados plantean producirlo 100% verde. La solución a esta controversia dependerá de los consumidores y, eventualmente, de certificaciones externas en el mercado. Empero, subsistirá la pregunta sobre cómo certificar que no haya un contrabando de hidrógeno de otros colores para venderlo como verde.

Interrogantes para nuevas indagaciones serían: ¿cómo puede certificarse una producción de hidrógeno realmente verde?, ¿cómo puede evaluarse la mitigación de óxido nítrico y otros gases de efecto invernadero generados por las plantas de producción de hidrógeno?

Desechos electrónicos

Finalmente, existe gran incertidumbre sobre la disposición de una futura gran cantidad de paneles fotovoltaicos y material electrónico desechado. Como aún la exigencia del Estado es poca y no existe un canon solar, no hay incentivos para que las empresas inviertan en el reciclaje de los paneles solares, por ejemplo, a través del financiamiento de investigaciones en las universidades.

Una interrogante para indagación futura sería: ¿de qué manera se puede incentivar o prescribir la colaboración entre los actores privados con investigadores para asegurar un uso circular de los paneles solares y otros desechos electrónicos?

Escenarios para el hidrógeno en el Perú

Basado en todo lo dicho, plantemos tres escenarios sobre el desarrollo del hidrógeno verde en el Perú. Estos escenarios se distinguen por el grado de involucramiento del Estado, el desarrollo de un mercado para este gas, la mitigación de conflictos y la voluntad de los actores privados para contribuir a una transición energética justa. Hemos construido dos escenarios extremos y uno intermedio, el último de los cuales consideramos como el más deseable. No obstante, presentamos los tres para examinar los posibles caminos por los que los peruanos podrían transitar. Finalmente, los escenarios propuestos son solo una guía, pues su concreción específica podría tomar formas distintas a las previstas.

Escenario 1: ¡El hidrógeno verde fue solo humo!

Existe la posibilidad de que los proyectos de hidrógeno verde nunca lleguen a ejecutarse debido a la falta de un mercado para este bien. Esto podría suceder en un contexto de pérdida de conciencia ambiental y climática derivada de la llegada al poder de gobiernos negacionistas o revisionistas, tal como se observa actualmente en algunos países del norte global. Todo dependerá de la voluntad política en implementar un mercado de carbono consistente con el Acuerdo de París.

Por ejemplo, si los países europeos deciden reiniciar o potenciar el uso de la energía nuclear, esto podría afectar la producción de hidrógeno verde. Igualmente, la aparición de otras fuentes de energía renovable, como la fusión nuclear, podría limitar el desarrollo de proyectos relacionados con el hidrógeno. Esto aplica, igualmente, a la expansión de las tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC), que se basan en el almacenamiento de CO₂ en el subsuelo.

En este escenario, es probable que los proyectos no logren encontrar un respaldo financiero continuado y se detengan. Sin embargo, en el contexto de la eventual disminución de las reservas de gas natural peruano, este estancamiento podría abrir la puerta a otras alternativas energéticas en el futuro.

Escenario 2: Perú, un paraíso neoliberal de producción de hidrógeno

En el caso opuesto, la demanda internacional de hidrógeno verde podría crecer, pero sin un desarrollo institucional del lado del Estado peruano. En este escenario, el Perú fomentaría la producción de hidrógeno sin considerar medidas institucionales esenciales, como la distribución equitativa de ingresos a través de un canon solar, la transferencia de tecnología, el uso circular de las salmueras y los desechos electrónicos, la colaboración científica con universidades, así como el seguimiento estricto de las emisiones de óxido nítrico y otros impactos de la producción de amoníaco.

Así, distintas compañías con diversos estándares éticos podrían establecerse en el sur y otras regiones de la costa peruana para generar el gas. Dado el bajo nivel de institucionalidad, la producción podría incluir hidrógeno verde adulterado por el uso de energía proveniente del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional o incluso el del tipo gris, que sería comercializado como si fuese enteramente verde. Esto podría erosionar la credibilidad del hidrógeno verde proveniente del Perú en los mercados internacionales.

En este escenario, es muy probable que se intensifiquen los conflictos socioambientales, tanto con comunidades pesqueras artesanales como con otros pueblos cercanos a las plantas de producción. Esto aumentaría los costos relacionados con la seguridad y, en consecuencia, incrementaría el precio del hidrógeno verde.

Escenario 3: una industria del hidrógeno que beneficia a muchos

El tercer escenario plantea un camino deseable, en el cual el mercado internacional del hidrógeno verde se consolida y los dos proyectos en el Sur Peruano se desarrollan de manera social y ambientalmente armoniosa. Ante la importancia económica de este gas, tanto el gobierno nacional como los subnacionales empiezan a crear normas para distribuir los ingresos entre las regiones y el gobierno central, y apremian a las empresas a invertir en tecnología de hidrógeno a pequeña escala y en investigación sobre reciclaje.

Además, se buscaría conectar las plantas de hidrógeno verde con otras industrias regionales- por ejemplo, la planta de fundición de Ilo (región Moquegua)- para aprovechar el hidrógeno en la industrialización local. Este enfoque, contribuiría también a la descentralización del país. En este escenario, un Estado comprometido sería riguroso en su fiscalización de las emisiones de gases de efecto invernadero y la gestión de desechos por parte de las fábricas de amoníaco.

Asimismo, se ofrecerían cursos universitarios y técnicos para formar una nueva generación de profesionales que empleen la tecnología del hidrógeno en diferentes escalas y contextos. Esto permitiría desarrollar un ecosistema de conocimiento e innovación que beneficiaría a diversos sectores, y que conectaría la investigación sobre la producción a pequeña y mediana escala con el uso local y regional del hidrógeno verde. Ello tendría por objetivo mitigar el déficit energético en localidades aisladas o almacenar energía para tiempos de escasez.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El hidrógeno verde tiene potencial para jugar un papel central en la transición energética mundial. Aunque no está garantizado, es probable que este gas de bajas emisiones forme parte de nuestro futuro. Perú, por sus condiciones naturales, tiene la posibilidad de ser un productor importante de este vector energético y de crear derivados del hidrógeno a precios competitivos. En la primera fase, la producción será únicamente para la exportación, lo que plantea la pregunta sobre la manera en que el hidrógeno verde puede aportar a una transición energética justa en el Perú. Por el momento, la voluntad política a nivel nacional para impulsar proyectos integrales de hidrógeno verde es incipiente. Sin embargo, a nivel subnacional, la región de Arequipa está empeñada en la habilitación de proyectos en su territorio.

Paralelamente, el sector privado está promoviendo el tema del hidrógeno verde y encaminando su regulación. En este contexto, el debate interno gira en torno a si se producirá hidrógeno verde o hidrógeno de bajas emisiones, es decir, si se utilizará el gas natural del Perú para su obtención. No obstante, ausente de este debate está la sociedad civil, que podría desempeñar un papel clave en impulsar una transición energética justa.

Dado que el Estado está demostrando poco interés en liderar este proceso, existe el peligro que el hidrógeno verde reproduzca *patrones extractivistas verdes*, es decir, que se produzca hidrógeno exclusivamente para la exportación sin un beneficio significativo para los peruanos.

Por su parte, tanto el proceso de transición energética como sus efectos en la sociedad civil y el medio ambiente siguen siendo poco conocidos. Por ello, es importante que la academia y, especialmente, las ciencias sociales continúen observando, y analizando este desarrollo y sus impactos.

En conclusión, la idea de establecer una economía del hidrógeno verde en el Perú se encuentra en una etapa inicial, con proyectos de gran escala en marcha y un marco normativo limitado. El camino que seguirán estos desarrollos es incierto debido a varios factores. Si bien las condiciones naturales son favorables y existe interés del sector empresarial, la ausencia de participación ciudadana y de mecanismos redistributivos claros limita sus potenciales beneficios. Los escenarios futuros planteados oscilan entre el estancamiento, la reproducción de patrones extractivistas enfocados primariamente en la exportación o la construcción de una industria que contribuya a la descentralización económica. Para avanzar en esta última dirección, es fundamental crear vínculos con la industria nacional y ampliar la normatividad para asegurar beneficios para los peruanos de distintas regiones, a la vez que se reducen pugnas emergentes alrededor del acceso al agua y al territorio. Para mitigar estos potenciales conflictos, el fortalecer la investigación interdisciplinaria es crucial. De esta manera, el hidrógeno verde podrá convertirse en un motor de competitividad internacional, a la vez que marcar una senda que articule justicia social y sostenibilidad ambiental desde una perspectiva integral hacia la transición energética del país.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) y a su programa ERF Zukunftsstipendien por la financiación de la investigación de campo, así como al proyecto Resources in Transformation (Leibniz Campus) por su apoyo económico.

REFERENCIAS

- Ajanovic, A., M. Sayer & R. Haas 2024. On the Future Relevance of Green Hydrogen in Europe. *Applied Energy* 358: 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122586>
- Atchison, J. 2024. Phelan Green Energy: Renewable ammonia in Peru. *Ammonia Energy Asociation*. <<https://ammoniaenergy.org/articles/phelan-green-energy-renewable-ammonia-in-peru/>> [consultado: 07-10-2025].

- Anderson, S., M. Carthy, A. Thazin & T. Kajumba 2023. *Gender - Just transitions. An Overview- Why Economic Transitions Can only be Just if We Apply a Gender Equality Lens*. London: International Institute for Environment and Development.
- Araníbar, E. & M. Olarte 2024. Hidrógeno verde: abriendo las puertas a un futuro energético sostenible en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente* (13): 1-16. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202401.A004>
- Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM). 2022. *Hoja de ruta: Industria del cemento Perú*. <<https://www.asocem.org.pe>> [consultado: 07-10-2025].
- Bergmann, J., N. Ouanes & E. Dunkelberg 2022. *Ökonomische Analyse der inländischen Erzeugung synthetischer Gase. Wirtschaftlichkeit und Geschäftsmodelle der Herstellung synthetischen Wasserstoffs und Methans am Beispiel der Stadt Berlin*. Berlín: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW).
- Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK). 2024. *Import Strategy for Hydrogen and Hydrogen Derivatives*. Berlín: BMWK. <https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/importstrategy-hydrogen.pdf?__blob=publicationFile&v=7> [consultado: 07-10-2025].
- Calvo, E., A. Zambrano & A. Durán 2023. *El fin de los combustibles fósiles. Una ruta hacia la transición energética*. Lima: Movimiento Ciudadano frente al Cambio Climático (MOCICC). <https://mocicc.pe/wp-content/uploads/2023/07/FCF_MOCICC_7Jul23.pdf> [consultado: 07-10-2025].
- Celis, C., R. Mas, D. Marcelo & M. Bellido 2022. Clean Energy Transition in Peru: A Green Hydrogen Perspective. *Revista Brasileira de Energia* 28 (3): 174-182.
- Combariza, N. 2024. Alternative Pathways for Green Hydrogen Economy: The Case of Colombia. *Contemporary Social Science* 19 (1-3): 41-65. <https://doi.org/10.1080/21582041.2024.2349547>
- Desde Adentro. 2022. *Industrias Cachimayo viabiliza la primera producción de hidrógeno verde en el Perú*. <<https://www.desdeadentro.pe/2022/11/industrias-cachimayo-viabiliza-la-primera-produccion-de-hidrogeno-verde-en-el-peru/>> [consultado: 07-10-2025].
- El Peruano. 2024. *Ley de Fomento del Hidrógeno Verde. Ley N° 31992*. Normas legales 8-10, 23 de marzo. <<https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2273433-1>> [consultado: 18-11-2025].
- Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A. (EGEMSA). s.f. *Historia de la Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A.* Lima: EGEMSA. <https://www.egemsa.com.pe/sites/default/files/2021-01/HISTORIA%20DE%20EGEMSA_0.pdf?utm_source=chatgpt.com> [consultado: 07-10-2025].
- Francovich, G. 2023. H2 Perú y la Embajada Británica firman memorándum para impulsar el hidrógeno verde. *Energía Estratégica* <<https://www.energiaestrategica.com/h2-peru>>

- y-la-embajada-britanica-firman-memorandum-para-impulsar-el-hidrogeno-verde/> [consultado: 07-10-2025].
- Gestión. 2024. *Promigas: queda gas natural solo para 15 años en Perú si no se invierte en exploración*. 7 de octubre. <<https://gestion.pe/economia/promigas-queda-gas-natural-solo-para-15-anos-en-peru-si-no-se-invierte-en-exploracion-noticia/>> [consultado: 07-10-2025].
- Gibbs, G. & U. Flick 2018. *Analyzing Qualitative Data*. Second Edition. Los Angeles & Londres: SAGE Publications Ltd.
- Gobierno Regional de Arequipa. 2024. *Acuerdo Regional N° 122-2024-GRA/CR-Arequipa*. Arequipa: Consejo Regional del Gobierno Regional de Arequipa. <<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6750621/5854176-acuerdo-regional-n-122-2024-gra-cr-arequipa.pdf>> [consultado: 07-10-2025].
- Gobierno Regional de Arequipa. 2025. Megaproyecto de hidrógeno verde en Arequipa. Noticias. *Plataforma del Estado Peruano*. <<https://www.gob.pe/institucion/regi-onarequipa/noticias/1121986-megaproyecto-de-hidrogeno-verde-en-arequipa>> [consultado: 07-10-2025].
- H2 Perú. Asociación Peruana de Hidrógeno. 2024. *H2 Perú y los Países Bajos: una alianza clave para el desarrollo del hidrógeno renovable en el Perú*. <<https://h2.pe/noticias/h2-peru-y-los-paises-bajos-una-alianza-clave-para-el-desarrollo-del-hidrogeno-renovable-en-el-peru/>> [consultado: 07-10-2025].
- H2 Perú. Asociación Peruana de Hidrógeno. 2025. *H2 Perú y la Embajada del Reino Unido en Lima presentan propuesta de reglamento de la Ley de Fomento del Hidrógeno Verde*. <<https://h2.pe/noticias/h2-peru-y-la-embajada-del-reino-unido-en-lima-presentan-propuesta-de-reglamento-de-la-ley-de-fomento-del-hidrogeno-verde/>> [consultado: 07-10-2025].
- Hassan, Q., S. Algburi, A. Sameen, H. Salman & M. Jaszczur 2024. Green Hydrogen: A Pathway to a Sustainable Energy Future. *International Journal of Hydrogen Energy* 50: 310-333. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.321>
- Kalt, T., J. Simon, J. Tunn & J. Hennig 2023. Between Green Extractivism and Energy Justice: Competing Strategies in South Africa's Hydrogen Transition in the Context of Climate Crisis. *Review of African Political Economy* 50 (177-178): 302-321. <https://doi.org/10.1080/03056244.2023.2260206>
- Krein, H. 2020. Typologies of “Just Transitions”: Towards Social-ecological Transformation. *Ecological Economic Papers* (35). Vienna: WU Vienna University of Economics and Business. <<https://research.wu.ac.at/en/publications/typologies-of-just-transitions-towards-social-ecological-transfor-3>> [consultado: 07-10-2025].
- Kumar, A., K. Phillips, G. Thiel, U. Schröder & J. Lienhard 2019. Direct Electrosynthesis of Sodium Hydroxide and Hydrochloric Acid from Brine Streams. *Nature Catalysis* 2: 106-113. <https://doi.org/10.1038/s41929-018-0218-y>

- LAC Green Hydrogen Action 2023. *Renewable hydrogen in Latin America and the Caribbean. Opportunities, Challenges and Pathways*. Santiago: LAC Green Hydrogen Action. <https://h2news.cl/wp-content/uploads/2024/05/2023-Renewable-Hydrogen-in-Latin-America-and-The-Caribbean_Opportunities-Challenges-and-Pathways.pdf> [consultado: 07-10-2025].
- Millán, A. 2025. They Live Next to Peru's Largest Solar Complex - So Why Are They Still in the Dark? *BBC World*, 9 de agosto. <<https://www.bbc.com/news/articles/c4ge1gw5zd8o>> [consultado: 07-10-2025].
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM). 2025. *Hoja de ruta de hidrógeno verde. Resultados preliminares*. Lima: Dirección General de Eficiencia Energética. <<https://eficiencia-energetica.minem.gob.pe/Content/fileman/Uploads/HIDRÓGENO%20VERDE/Presentación%20Jose%20Meza%20-%20DGEE%20MINEM.pdf>> [consultado: 07-10-2025].
- Nuño, T. 2021. Las trampas del hidrógeno para mantener la energía sucia. *Greenpeace España*. <<https://es.greenpeace.org/es/noticias/las-trampas-hidrogeno/>> [consultado: 07-10-2025]
- Piggot, G., M. Boyland, A. Down & A. Torre 2019. *Realizing a Just and Equitable Transition Away from Fossil Fuels*. Stockholm: Stockholm Environment Institute. <<https://www.sei.org/wp-content/uploads/2019/01/realizing-a-just-and-equitable-transition-away-from-fossil-fuels.pdf>> [consultado: 07-10-2025].
- Pinley, L. 2022. Barriadas and Housing Policy in the Aftermath of the 1950 Cusco Earthquake. *Histórica* 46 (2): 39-72. <https://doi.org/10.18800/historica.202202.002>
- Reuters. 2025. *Perú aprueba estudio para planta de hidrógeno verde de 12.500 millones de dólares: ministro*. <<https://www.reuters.com/latam/domestico/NMAVLVRRNJLR-5PUKTF6EQFRDXA-2025-03-19/>> [consultado: 07-10-2025].
- Redacción Mulera. 2025. “Perú está atrapado en la trampa del gas y sin política energética”: Manuel Pulgar Vidal. *LaMula.pe*. <<https://redaccion.lamula.pe/2025/03/07/transicion-energetica-peru-manuel-pulgar-vidal/redaccionmulera/>> [consultado: 07-10-2025].
- Schellnhuber, H., S. Rahmstorf & R. Winkelmann 2016. Why the Right Climate Target Was Agreed in Paris. *Nature Climate Change* 6 (7): 649-653. <https://doi.org/10.1038/nclimate3013>
- Tornel, C. 2023. Decolonizing Energy Justice from the Ground up: Political Ecology, Ontology, and Energy Landscapes. *Progress in Human Geography* 47 (1): 43-65. <https://doi.org/10.1177/03091325221132561>
- Tunn, J., T. Kalt, F. Müller, J. Simon, J. Hennig, I. Ituen & N. Glatzer 2024. Green Hydrogen Transitions Deepen Socioecological Risks and Extractivist Patterns: Evidence from 28 Prospective Exporting Countries in the Global South. *Energy Research & Social Science* 117. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103731>

- Tutton, R. 2021. Sociotechnical Imaginaries and techno-Optimism: Examining outer Space Utopias of Silicon Valley. *Science as Culture* 30 (3): 416-439. <https://doi.org/10.1080/09505431.2020.1841151>
- Ueckerdt, F., P. Verpoort, R. Anantharaman, C. Bauer, F. Beck, T. Longden & S. Roussanaly 2024. On the Cost Competitiveness of Blue and Green Hydrogen. *Joule* 8 (1): 104-128. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2023.12.004>
- Ulloa, A. 2023. Aesthetics of Green Dispossession: From Coal to Wind Extraction in La Guajira, Colombia. *Journal of Political Ecology* 30 (1): 743-764. <https://doi.org/10.2458/jpe.5475>
- UN Women. 2021. *Beyond COVID-19: A Feminist Plan for Sustainability and Social Justice*. New York: UN Women. <<https://www.unwomen.org/sites/default/files/Headquarters/Attachments/Sections/Library/Publications/2021/Feminist-plan-for-sustainability-and-social-justice-en.pdf>> [consultado: 07-10-2025].
- Vezzoni, R. 2024. How “Clean” is the Hydrogen Economy? Tracing the Connections Between Hydrogen and Fossil Fuels. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 50. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2024.100817>
- Virens, A. 2024. Green Hydrogen Futures: Tensions of Energy and Justice within Socio-technical Imaginaries. *Energy Research & Social Science* 114. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2024.103587>
- Wang, X. & K. Lo 2021. Just Transition: A Conceptual Review. *Energy Research & Social Science* 82. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102291>
- Zainal, B., P. Ker, H. Mohamed, H. Ong, I. Fattah, S. Rahman, L. Nghiemc & T. Mahlia 2024. Recent Advancement and Assessment of Green Hydrogen Production Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 189. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113941>