

Hidrógeno verde: abriendo las puertas a un futuro energético sostenible en el Perú

Edgar Romario Aranibar Ramos

Universidade de São Paulo, Brasil

ORCID: 0000-0001-5926-8544

Miguel Angel Demetrio Olarte Pacco

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú

ORCID: 0009-0007-0303-7545

Resumen: La preocupación por el cambio climático ha impulsado la búsqueda de soluciones energéticas sostenibles. En este contexto, el hidrógeno verde se destaca como una opción emergente y prometedora, dada su producción libre de emisiones de carbono y extensa aplicabilidad. No obstante, su abordaje académico a nivel peruano es aún escueto. A partir de ello, se tiene como objetivo analizar el potencial del hidrógeno verde en el Perú, considerando aspectos técnicos, económicos, ambientales y regulatorios. El estudio se basa en una revisión de la matriz energética actual peruana, identificando sus retos y limitaciones, y explora las oportunidades y ventajas que este podría ofrecer en el contexto nacional, examinando también experiencias internacionales. Se observa que el Perú posee una matriz energética diversa, pero enfrenta retos en términos de infraestructura, dependencia de combustibles fósiles y vulnerabilidad a fluctuaciones de precios internacionales. El hidrógeno verde tiene el potencial de aprovechar los recursos naturales renovables y ofrece beneficios económicos, ambientales y sociales, así como una mayor diversificación y seguridad energética. Se concluye que la implementación exitosa del hidrógeno verde en el Perú requerirá abordar obstáculos técnicos, establecer un marco regulatorio sólido y garantizar el acceso a financiamiento asequible. Las experiencias internacionales resaltan la colaboración entre el gobierno, industria e instituciones académicas para acelerar el desarrollo de estas tecnologías. Asimismo, el establecimiento de un marco regulatorio y político que proporcione seguridad y fomente la colaboración es menester. Una limitación del trabajo es que aborda sucintamente el ámbito de costo de las plantas de producción, punto posible de futuras investigaciones.

Palabras clave: Hidrógeno verde. Sustentabilidad. Fuente de energía renovable. Inversión. Diseño de proyectos.

Green hydrogen: opening the doors to a sustainable energy future in Peru

Abstract: The concern for climate change has driven the search for sustainable energy solutions. In this context, green hydrogen stands out as an emerging and promising option, given its carbon-free production and extensive applicability. However, its academic approach at the Peruvian level is still limited. Therefore, the objective is to analyze the potential of green hydrogen in Peru, considering technical, economic, environmental, and regulatory aspects. The study is based on a review of Peru's current energy matrix, identifying its challenges and limitations, and explores the opportunities and advantages that it could offer in the national context, also examining international experiences. It is observed that Peru has a diverse energy matrix but faces challenges in terms of infrastructure, dependence on fossil fuels, and vulnerability to international price fluctuations. Green hydrogen has the potential to harness renewable natural resources and offers economic, environmental, and social benefits, as well as greater energy diversification and security. It is concluded that the successful implementation of green hydrogen in Peru will require addressing technical obstacles, establishing a solid regulatory framework, and ensuring access to affordable financing. International experiences highlight the collaboration between the government, industry, and academic institutions to accelerate the development of these technologies. Additionally, the establishment of regulatory and political frameworks that provide security and promote collaboration is necessary. One limitation of the work is that it briefly addresses the cost aspect of production plants, a potential point for future research.

Keywords: Green hydrogen. Sustainability. Renewable energy sources. Investment. Project design.

Edgar Romario Aranibar Ramos

Licenciado en Relaciones Internacionales por la Universidade de São Paulo (Brasil). Especialista en Diseño de la Enseñanza con Tecnologías en el Nivel Superior por la Universidad de Buenos Aires (Argentina). Sus áreas de investigación incluyen el desarrollo sostenible, cosmovisión ecológica andina, legislación doméstica e internacional referente a la empresa y medioambiente. Actualmente, es asistente de cátedra en la Universidade de São Paulo (Brasil) e investigador en la Universidad Tecnológica de Santiago (República Dominicana) y Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (Perú).

Correo: romario.aranibar@usp.br

Miguel Angel Demetrio Olarte Pacco

Bachiller en Gestión con mención en Gestión de Empresas por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (Perú). Sus áreas de investigación incluyen al desarrollo tecnológico en la empresa, impacto ambiental, sostenibilidad y transición digital. Actualmente, es asistente de cátedra e investigador en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (Perú).

Correo: molarte@unsa.edu.pe

1. Introducción

En los últimos años, la creciente preocupación por los efectos del cambio climático ha llevado a la búsqueda de soluciones energéticas que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, el hidrógeno verde se destaca como una opción prometedora, puesto que su producción no genera emisiones de carbono y puede utilizarse como fuente de energía limpia en diversos sectores, como transporte, industria y generación de electricidad (Oliveira et al., 2021; Zhou et al., 2022). Varios países y regiones alrededor del mundo han iniciado proyectos de investigación y desarrollo en torno a este (Bairrão et al., 2023), y el Perú no ha quedado ajeno a esta tendencia (Asociación Peruana de Hidrógeno [H2 Perú], 2023).

Se seleccionó esta temática debido a su escueto abordaje a nivel nacional, relevancia en el contexto energético actual y su potencial para impulsar la transición hacia una matriz energética más sostenible en el Perú. A medida que el país busca reducir su dependencia de los combustibles fósiles y cumplir con sus compromisos internacionales en términos de reducción de emisiones, es fundamental explorar y evaluar las oportunidades que ofrece el hidrógeno verde (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019). Además, se cuenta como país con una amplia riqueza de recursos renovables, como la energía solar y eólica, que podrían utilizarse para producir hidrógeno verde de manera eficiente y sostenible (Panchenko et al., 2023).

De esta forma, se tiene como objetivo analizar el potencial del hidrógeno verde en el contexto peruano, considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales. Se explorará la factibilidad de su producción, distribución y utilización en diferentes sectores, así como los posibles beneficios y desafíos asociados. Asimismo, se examinarán las políticas y regulaciones necesarias para promover el desarrollo del hidrógeno verde en el país. Consiguientemente, se busca brindar información clave y recomendaciones que contribuyan a la toma de decisiones informadas y diseño de estrategias para fomentar el uso del hidrógeno verde como una alternativa energética sostenible en el Perú.

1.1 El panorama energético actual en el Perú

La matriz energética actual del Perú se caracteriza por su diversidad, con una combinación de fuentes que incluyen hidroeléctricas, gas natural, petróleo y energía renovable. Las hidroeléctricas desempeñan un papel fundamental, siendo la fuente predominante de electricidad en el país, aprovechando los recursos hídricos. La matriz energética peruana se encuentra conformada de la siguiente manera: termoeléctrica, 56.09%; hidroeléctrica, 38.70%; eólica, 3.08%; solar, 2.13% (Plataforma para el desarrollo del hidrógeno verde en Latinoamérica y el Caribe [H2LAC], 2023).

Sin embargo, el sistema energético peruano enfrenta varios retos y limitaciones, que pueden verse expresados a través de la realidad de 700 mil domicilios que no cuentan con conexión legal a una red eléctrica (Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, 2023). Algunos de los desafíos son la escasez de infraestructura en distribución, a pesar de contar con los recursos para dar inicio a la transición energética; dependencia de los combustibles fósiles que plantea preocupaciones ambientales y de seguridad energética, puesto que el Perú aún importa una parte significativa de su petróleo y gas (Gamio, 2017).

En esa misma línea, a pesar de la existencia del decreto supremo 003-2022-MINAM (Ministerio del Ambiente, 2022), donde se declara de interés nacional la transición a energías limpias en el uso doméstico, se aprecia que no se produjo los resultados esperados. Asimismo, la vulnerabilidad a los cambios en los precios internacionales de los combustibles fósiles también es una preocupación e incentivo respecto a la reducción de dependencia de combustibles fósiles (Campodónico & Carrera, 2022; He & Tyka, 2023).

Por otro lado, la participación de inversiones extranjeras en la matriz energética del Perú es un tema de gran relevancia en el contexto de la transición energética del país, pues es un indicador de desarrollo. Según el informe *Fomento de una Transición Energética Eficaz 2023* (World Economic Forum, 2023), el país se encuentra en el puesto 53 de 120 países en el Índice de Transición Energética, hecho que expone un avance y un camino a transitar. Respecto al tipo de inversión extranjera, estas han comprendido económicas, tecnológicas y de conocimiento, que se han incrementado en los últimos años.

También, se recuerda que, a nivel nacional, de acuerdo con el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (2023), seis de cada 10 personas que viven en zonas rurales no cuentan con un acceso estable a la electricidad; en

análisis con los otros países de la región andina, Bolivia, Colombia y Ecuador, y en concordancia con el Banco Interamericano de Desarrollo (2024), este acceso en zonas rurales es del 70%, lo que implicaría una situación menos abordada por el Perú, comparándolo con la región andina.

La generación de energía en el Perú ha tenido un impacto considerable en el entorno, desarrollando inquietudes en la sociedad. Durante las últimas dos décadas, la producción de electricidad en el país ha experimentado un incremento del 186%, con repercusiones en los ámbitos ambiental, social y económico (Conexión ESAN, 2019). La ejecución de proyectos hidroeléctricos en el Perú ha ocasionado efectos adversos, como alteraciones en los patrones de transporte y deposición, la afectación de las rutas migratorias de los peces y la pérdida de ecosistemas debido a la deforestación. Además, la producción de energía eléctrica, especialmente a partir de fuentes no renovables, conlleva la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático.

En esta situación, la inversión en fuentes de energía renovable, la actualización de la infraestructura y el impulso de prácticas eficientes en el consumo de energía son pasos esenciales para garantizar un suministro confiable y respetuoso con el entorno. La transición hacia fuentes de energía sostenible no solo disminuiría la huella de carbono nacional, sino que también reforzaría la autonomía energética, al mismo tiempo que estimularía el crecimiento económico y la generación de empleo en el sector energético (Gamio, 2017). A su vez, esta transición se traduciría en significativos beneficios para la salud pública, al disminuir las emisiones de gases contaminantes e impacto en los ecosistemas, consiguientemente, contribuiría a la reducción de patologías (H2LAC, 2023).

2. Perspectivas de futuro: oportunidades y desafíos

El Perú cuenta con una abundancia de recursos naturales que lo sitúan en una posición propicia para la producción de hidrógeno verde. Con un gran potencial en energía solar, eólica e hidroeléctrica, el país tiene la capacidad de generar electricidad renovable en cantidades significativas, que a su vez pueden utilizarse para producir hidrógeno verde mediante la electrólisis del agua (Deloitte, 2022). Estos recursos naturales ofrecen una base sólida para desarrollar una industria de hidrógeno verde sostenible y competitiva, además, el interés y apoyo permanente de sectores importantes en la economía peruana, como la minería, hacen de la industria del hidrógeno verde una gran alternativa a la renovación de la matriz energética nacional (Bello et al., 2023; Rodríguez, 2019).

Sin embargo, la implementación de esta tecnología enfrenta diversas barreras que aún no se han superado. Desde el punto de vista técnico, desafíos significativos incluyen la eficiencia de la electrólisis del agua, la gestión de la variabilidad en la generación de energía, la tecnología y logística escasa, las cuales son necesarias para una industria como la del hidrógeno verde. Estos obstáculos técnico-científicos requieren soluciones innovadoras para optimizar la eficacia del proceso y garantizar la estabilidad en la producción (Molina et al., 2023; Yang & Lu, 2023).

La experiencia internacional, particularmente en países como Alemania y Japón, resalta la importancia de establecer una colaboración estrecha entre el gobierno, industria e instituciones académicas para acelerar el desarrollo de tecnologías. Este enfoque integral ha sido esencial en el éxito de iniciativas similares a nivel internacional. Adicionalmente, considerando la experiencia internacional de países líderes en esta región, como Chile y Brasil, se podría promover un diálogo bilateral y diplomático. Esta interacción facilitaría la transferencia tecnológica y energética, aprovechando las lecciones aprendidas y las mejores prácticas de estos socios. Establecer alianzas internacionales de transferencia, especialmente con naciones que muestran avance en el desarrollo del hidrógeno verde, sería clave para acelerar la adopción de estas tecnologías en el contexto peruano (Chavez-Angel et al., 2023).

En cuanto al entorno de inversión privada en el Perú, se establece un marco legal sólido y atractivo tanto para inversionistas nacionales como extranjeros. La Constitución Política del Perú (1993), en su artículo 63, incorpora disposiciones fundamentales que garantizan la igualdad de trato entre la inversión nacional y extranjera. Dos normativas clave que rigen el tratamiento de la inversión privada son el decreto legislativo 662 (Presidencia del Consejo de Ministros, 1991), que reglamenta la Estabilidad Jurídica para Inversiones Extranjeras, y el decreto legislativo 757 (Congreso de la República, 1991), que aprueba la Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada, estableciendo disposiciones esenciales para el fomento de la inversión privada en todos los sectores económicos. Adicionalmente, existen la Ley de Promoción de Inversión Privada en Infraestructura de Servicios Públicos (Ministerio de Economía y Finanzas, 2018) y un Marco de Promoción de la Inversión Privada mediante Asociaciones Público-Privadas y Proyectos en Activos (Ministerio de Economía y Finanzas, 2015).

Se hace hincapié que, aunque no se cuenta con un marco regulatorio específico para el hidrógeno verde, se han presentado propuestas que buscan la elaboración de una estrategia que identifique oportunidades en el Perú, determine sectores de aplicación, evalúe el potencial de exportación,

implemente una política para el hidrógeno verde y establezca medidas de promoción (Deloitte, 2022; Lepawsky et al., 2023; H2LAC, 2023).

Por otro lado, desde una perspectiva económica, la exportación de hidrógeno verde puede generar importantes ingresos, además de impulsar la inversión y creación de empleo en el sector y tecnologías asociadas. Desde un punto de vista ambiental, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar el hidrógeno convencional producido a partir de combustibles fósiles (Arias et al., 2022). Además, su uso en el sector minero podría brindar como consecuencia una reducción sustancial de la contaminación ambiental en el transporte, lo que, aunado a la generación de energía alterna, mejoraría la calidad de vida de los habitantes, puesto que su aplicación presenta repercusiones sustanciales en la reducción de la presencia de agentes contaminantes dañinos. Esto resultaría en la promoción de un entorno más saludable para las comunidades locales. Socialmente, la producción de hidrógeno verde promueve la innovación y desarrollo tecnológico, ofreciendo oportunidades para la capacitación y empleo en la transición hacia una economía más sostenible (Deago et al., 2022).

Asimismo, al reducir la dependencia de los combustibles fósiles importados y aprovechar sus recursos naturales renovables, el país fortalece su resiliencia energética y disminuye su vulnerabilidad a las fluctuaciones en los precios de los hidrocarburos, generando más estabilidad de abastecimiento (Muñoz-Fernández et al., 2022). Esta transición hacia fuentes energéticas más limpias y sostenibles también contribuye a alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de carbono y a cumplir con los compromisos de mitigación del cambio climático a nivel internacional (Deloitte, 2022). La Asociación Peruana de Hidrógeno (2023) ha estado implementando iniciativas destinadas a impulsar el desarrollo de parques industriales y la aplicación de hidrógeno verde en el país. Estas acciones representan pasos significativos hacia la superación de las barreras existentes y la consolidación de esta fuente de energía sostenible en el panorama peruano.

3. Experiencias internacionales

Alemania ha sido uno de los pioneros en cuanto a la adopción de hidrógeno verde, estableciendo un marco regulatorio y político de promoción e incentivo de esa industria (Sadik-Zada et al., 2023). A su vez, ha fomentado, entre las partes interesadas, la aceleración en investigación y adhesión de conocimiento teórico y práctico en cuanto a hidrógeno verde, la cual cuenta con potencial de uso en la industria, transporte y generación de energía (Galimova et al., 2023). Asimismo, en oriente, Japón, con su enfoque en la reducción de la dependencia

de los combustibles fósiles y la seguridad energética, ha impulsado inversiones significativas en tecnologías de hidrógeno verde, implementando proyectos de producción de hidrógeno a partir de energía solar y eólica. A esto se le suman países como Australia, Turquía y Portugal, que se encuentran en vías y proyección de uso (Bairrão et al., 2023; Kar et al., 2023).

En América Latina, la industria del hidrógeno verde está experimentando un notorio impulso, destacando por sus avances en el establecimiento de marcos regulatorios y políticas destinadas a fomentar inversiones nacionales y extranjeras. Entre estos países se encuentra Chile, que se ha posicionado como líder, al ser el primero en publicar una Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (Ministerio de Energía, 2020), y el proyecto «Green Ammonia Chile» (Enaex, 2021), el cual tiene como objetivo la generación de amoníaco verde mediante la utilización de hidrógeno renovable en la región de Magallanes y la Antártica Chilena; por su extensión territorial, además está protegida por acuerdos internacionales de preservación, lo que incentiva al uso eficiente de tecnologías y promoción de uso de energías renovables, como el empleo del amoníaco verde como combustible en el transporte marítimo. Para replicar ese escenario es necesario trabajar en la formación de alianzas estratégicas con empresas y países líderes en la producción de hidrógeno verde para adquirir conocimientos y tecnologías avanzadas. También, es importante promover la investigación y el desarrollo de tecnologías de producción de hidrógeno verde a nivel nacional. Todo ello permitirá al Perú forjar una industria en expansión y generar empleos en este sector en el futuro.

Asimismo, Colombia también ha demostrado un progreso significativo al publicar su hoja de ruta del hidrógeno y establecer alianzas estratégicas con empresas nacionales y extranjeras. Además, la implementación de pruebas piloto de buses en el transporte público de la ciudad de Cartagena subraya su compromiso con esta industria (Galimova et al., 2023). Brasil, por su parte, se destaca por implementar estrategias y proyectos de considerable alcance en el campo de la transición hacia fuentes de energía más sostenibles como el Complejo Eólico de Osório (Enerfín, 2016). De esta forma, muestra un compromiso notable con la innovación y la adopción de tecnologías limpias, consolidándose como uno de los líderes en la promoción de soluciones respetuosas con el medioambiente (Hassan et al., 2023). En consonancia con ello, los proyectos de la Cooperación Brasil-Alemania para el Desarrollo Sostenible tienen como propósito, entre la variedad de enfoques, la producción de hidrógeno verde mediante el aprovechamiento de la energía eólica, hidroeléctrica y solar. Este hidrógeno resultante se destinará como combustible en los sectores de transporte e industrial, desempeñando un

papel esencial en la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (Marouani et al., 2023; Deloitte, 2022).

De esta manera, la colaboración estratégica con Brasil, Chile, Alemania y Japón en la industria del hidrógeno verde presenta para el Perú una ventana de oportunidades en la transición hacia fuentes de energía más sostenibles. Alemania se posiciona como un aliado crucial en el desarrollo del hidrógeno verde, respaldado por un marco regulatorio que favorece este combustible limpio. El país ha alcanzado progresos notables en la industria. Entre estas, destaca la actualización de la estrategia nacional del hidrógeno, con la perspectiva de que hasta el 70% de la demanda energética se satisfaga mediante importaciones (H2LAC, 2023). Además, Alemania planea invertir en proyectos de hidrógeno verde en América Latina, subrayando su interés en estrechar la colaboración en este campo, como la asociación con Chile (Ministerio de Energía, 2021).

Japón ha apostado decididamente por el hidrógeno verde como parte integral de su transición hacia una matriz energética más sostenible. En términos regulatorios, Japón ha establecido objetivos ambiciosos de reducción de emisiones y neutralidad de carbono, propulsando así el desarrollo de su industria de hidrógeno verde (Watabe et al., 2020; Khan et al., 2021). El país ha priorizado la inversión en infraestructura para la producción y almacenamiento de hidrógeno, así como en el desarrollo de tecnologías para su transporte y aplicación en diversos sectores, incluyendo el transporte y la industria. Lo cual se evidencia con la destacable planta de Fukushima, que ahora tiene como meta mostrar la viabilidad y eficacia de la producción a gran escala de hidrógeno verde (Gobierno del Japón, 2019).

En la región, Chile emerge como un colaborador estratégico para Perú, destacando por su enfoque ambicioso delineado en su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde (Ministerio de Energía, 2020). Chile respalda su compromiso con acciones tangibles, como la inversión en proyectos específicos, ejemplificado por la planta de hidrógeno verde en la región de Magallanes, donde se aspira a generar hidrógeno verde a partir de energía eólica, evidenciando un enfoque decidido en tecnologías renovables (Enaex, 2021). Estos progresos no solo subrayan el compromiso de Chile con la sostenibilidad y la transición hacia fuentes de energía más limpias, sino que también consolidan su posición como un socio valioso para Perú y otros países de la región interesados en impulsar el desarrollo de esta fuente energética sostenible. La colaboración con Chile no solo representa una oportunidad estratégica, sino también un medio eficaz para compartir conocimientos y experiencias que pueden acelerar la adopción del hidrógeno verde en América Latina.

Asimismo, una colaboración bilateral entre Perú y Brasil podría abarcar acuerdos específicos destinados a promover intercambio de tecnologías asociadas al hidrógeno verde por la cercanía demográfica; por otro lado, la calidad de sus universidades en producción científica y generación de valor hacen de Brasil un aliado estratégico indiscutible, aunado al aporte gubernamental recurrente que destinan a esta área (Nadaleti et al., 2020). Adicionalmente, la participación conjunta en organismos internacionales comprometidos con el impulso de tecnologías sostenibles, como el hidrógeno verde, facilitaría la activa integración de ambos países en el panorama global de esta industria en crecimiento (Chantre et al., 2022). Además, el país sudamericano cuenta con un marco regulatorio orientado favorablemente hacia la producción de hidrógeno verde, ofreciendo, de esa forma, un entorno propicio para la inversión y el desarrollo de proyectos sostenibles en esta área. Del mismo modo, Brasil destaca por su extenso territorio, propicio para la generación de energía solar y eólica, elementos esenciales para la producción de hidrógeno verde mediante la electrólisis del agua con energía renovable.

La combinación de la experiencia tecnológica, el compromiso sostenible y las relaciones diplomáticas sólidas hacen de esta colaboración una oportunidad valiosa para Perú en su camino hacia una economía más limpia y sostenible. Brasil, Chile, Alemania y Japón han cultivado históricamente lazos amigables con nuestro país, lo cual establece una base propicia para una colaboración más estrecha en la prometedora industria del hidrógeno verde. De esta forma, el acercamiento en esta índole no solo podría significar la transferencia de conocimiento y tecnología, sino también una posible atracción de inversión extranjera de estos países o vecinos, incentivando la formación de clústeres estratégicos que podrían impulsar significativamente el desarrollo sostenible en el sector energético peruano (Panchenko et al., 2023; Fairlie et al., 2021).

4. Conclusión

La matriz energética peruana actual es diversa, pero depende, en notadas proporciones, de combustibles fósiles, lo que plantea retos de seguridad energética y ambientales; a su vez, limitantes infraestructurales y de logística no permiten su uso eficiente. La transición hacia fuentes de energía sostenibles es esencial para mitigar el impacto del cambio climático y garantizar la independencia energética. El hidrógeno verde se perfila como gran potencial frente a la necesidad imperiosa de seguridad energética.

Desde las dificultades técnicas y tecnológicas hasta aspectos regulatorios y financieros deben considerarse cuidadosamente en la implementación de

proyectos de hidrógeno verde en el Perú. La lección clave es la necesidad de establecer un marco regulatorio y político sólido que proporcione certeza a los inversores y fomente la adopción de tecnologías de hidrógeno verde. La colaboración entre el gobierno, industria y academia es esencial, y la diversificación de usos, desde la industria y transporte hasta la generación de energía, maximiza su impacto. Además, la inversión en infraestructura y formación de una fuerza laboral especializada en tecnologías de hidrógeno son pilares fundamentales para el éxito de estos proyectos.

Asimismo, resulta trascendental optar por la colaboración multilateral, entre los actores nacionales interesados. Promover las alianzas con países líderes en la industria del hidrógeno verde y países de la región que promueven tales iniciativas. El caso de Alemania y Japón, como líderes mundiales en el desarrollo de plantas y tecnología en energías renovables y promoción de leyes en aras de la promoción de esta industria, son fundamentales para que el Perú los tome en cuenta como guía y aliados estratégicos en la formación de su propia industria de hidrógeno verde. Del mismo modo, Brasil y Chile representan en la región la oportunidad de desarrollo en cuanto a alianzas estratégicas, transferencia tecnológica, promoción de conocimiento y orientación normativa en función del incentivo de inversión pública y privada en la prometedora industria de las energías renovables. La participación activa de aliados estratégicos de la región y potencias mundiales en el sector formarán las bases primigenias de la futura matriz energética peruana, orientada a la transición a fuentes renovables, marcando un hito nacional e internacional.

Por otro lado, se reconoce como limitación en el trabajo el incipiente análisis en cuanto a los costos de inversión que demanda el establecimiento de plantas de producción; se recomienda y resalta la oportunidad de estudio en casos específicos de países que cuentan con un notado desarrollo en la industria en cuestión. Con ello, se ampliaría el espectro en cuanto a la factibilidad económica de proyectos en países que buscan transformar su matriz energética. En adición, algunas otras cuestiones proyectadas para posteriores investigaciones son: ¿Hasta qué punto el avance de la industria del hidrógeno verde y energías sostenibles en el Perú conllevaría implicancias socioeconómicas positivas dentro de la región? ¿En qué medida se expresarían las diferencias entre la planeación, aplicación y resultados del avance de la industria del hidrógeno verde en el Perú? ¿De qué formas se proyecta el papel del sector público y privado en el incentivo de las energías sostenibles en los países en vías de desarrollo? ¿Hasta qué punto el hidrógeno verde está presente en los compromisos internacionales de descarbonización de la matriz energética y reducción de gases de efecto invernadero?

Referencias

- Arias, P.; Agirre, I. & Barrio-Cagigal, V. (2022). Green hydrogen future. *Dyna*, 97(6), pp. 567-569. <https://doi.org/10.6036/10685>
- Bairrão, D.; Soares, J.; Almeida, J.; Franco, J. & Vale, Z. (2023). Green Hydrogen and Energy Transition: Current State and Prospects in Portugal. *Energies*, 16(1), p. 551. <https://doi.org/10.3390/en16010551>
- Banco Interamericano de Desarrollo (4 de enero de 2024). Perú. Grupo BID. <https://www.iadb.org/es/quienes-somos/representaciones-por-pais/peru>
- Bello, C.; Suarez, W.; Drenkhan, F. & Vega-Jácome, F. (2023). Hydrological impacts of dam regulation for hydropower production: The case of Lake Sibilacocha, Southern Peru. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 46, 101319. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101319>
- Campodónico, H. & Carrera, C. (2022). Energy transition and renewable energies: Challenges for Peru. *Energy Policy*, 171, 113261. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113261>
- Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (2023). *Incremento de la cobertura de electrificación*. Presidencia del Consejo de Ministros. <https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/t39>
- Chantre, C.; Andrade S.; Pradelle, F.; Católico, A. C.; Branquinho Das Dores, A. M.; Torres, E.; Campello, R.; Botelho V. & Leal, S. (2022). Hydrogen economy development in Brazil: An analysis of stakeholders' perception. *Sustainable Production and Consumption*, 34, pp. 26-41. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.028>
- Chavez-Angel, E., Castro-Alvarez, A.; Sapunar, N.; Henríquez, F.; Saavedra, J.; Rodríguez, S.; Cornejo, I. & Maxwell, L. (2023). Exploring the Potential of Green Hydrogen Production and Application in the Antofagasta Region of Chile. *Energies*, 16(11), 4509. <https://doi.org/10.3390/en16114509>
- Conexión ESAN (20 de febrero de 2019). *El mercado de electricidad en el Perú: ¿cómo van las cifras?* Escuela de Administración de Negocios para Graduados. <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/el-mercado-de-electricidad-en-el-peru-como-van-las-cifras>
- Congreso de la República (1991). Decreto Legislativo 757. *Por la cual se aprueba Ley Marco para el crecimiento de la inversión privada*. 13 de noviembre de 1991. <https://www.gob.pe/institucion/congreso-de-la-republica/normas-legales/2137538-757>
- Constitución Política del Perú (1993). *Artículo 63*. 29 de diciembre de 1993 (Perú). <https://www.tc.gob.pe/wp-content/uploads/2021/05/Constitucion-Politica-del-Peru-1993.pdf>
- Deago, H., Santos, J. & Barría, N. (2022). Investment Opportunities That Can Be Generated by the Production and Distribution of Green Hydrogen for Panama. *2022 8th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC)* (pp. 632-639). <https://doi.org/10.1109/IESTEC54539.2022.00105>
- Deloitte (2022). *Actualización de la Hoja de ruta de Transición Energética en Perú Un modelo energético sostenible para Perú al 2050*. Grupo Enel. <https://bit.ly/3Q7j9iy>
- Enaex (18 de agosto de 2021). *Green ammonia*. Grupo Enaex. <https://www.enaex.com/cl/us/green-ammonia/>
- Enerfín (15 de setiembre de 2016). *Complejo Eólico de Osório*. Grupo Elecnor. https://www.complexoelicoosorio.com.br/es/coplejo_eolico_de_osorio.php

- Fairlie, A.; Portocarrero, J. & Paredes, T. (2021). Impacto de las cláusulas ambientales de los acuerdos comerciales regionales sobre los niveles de contaminación. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (8), pp. 13-35. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.202102.001>
- Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (2023). *Perú*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.ifad.org/es/web/operations/w/pais/peru>
- Galimova, T.; Fasihi, M.; Bogdanov, D. & Breyer, C. (2023). Impact of international transportation chains on cost of green e-hydrogen: Global cost of hydrogen and consequences for Germany and Finland. *Applied Energy*, 347, 121369. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121369>
- Gamio, P. (2017). Energía: un cambio necesario en el Perú. *Revista Kawsaypacha: Sociedad Y Medio Ambiente*, (1), pp. 93-135. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201701.004>
- Gobierno del Japón (2019). La sociedad del hidrógeno empieza en Fukushima. *Somos tomodachi* [dossier]. Otoño 2019, pp. 8-9 https://www.cu.emb-japan.go.jp/es/docs/20191120_SOMOS_TOMODACHI%20_2019_OTOC%3%910.pdf
- H2LAC (Plataforma para el desarrollo del hidrógeno verde en Latinoamérica y el Caribe) (2023). *Perú*. <https://bit.ly/3MwmLtl>
- H2Perú (Asociación Peruana de Hidrógeno) (2023). *Propuesta de hoja de ruta de hidrógeno verde para el Perú*. <https://h2.pe>
- Hassan, Q.; Algburi, S.; Sameen, A.; Salman, H. & Jaszczur, M. (2023). Green hydrogen: A pathway to a sustainable energy future. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.321>
- He, J. & Tyka, M. (2023). Limits and CO2 equilibration of near-coast alkalinity enhancement. *Biogeosciences*, 20, pp. 27-43. <https://doi.org/10.5194/bg-20-27-2023>
- Kar, S.; Sinha, A.; Bansal, R.; Shabani, B. & Harichandan, S. (2023). Overview of hydrogen economy in Australia. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 12(1), e457. <https://doi.org/10.1002/wene.457>
- Khan, U., Yamamoto, T. & Sato, H. (2021). An insight into potential early adopters of hydrogen fuel-cell vehicles in Japan. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(18), 10589-10607. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.12.173>
- Lepawsky, J., Cáceres, K., Gusukuma, M. & Kahhat, R. (2023). Carbon and water conservation value of independent, place-based repair in Lima, Peru. *Journal of Industrial Ecology*, 27(3), pp. 896-907. <https://doi.org/10.1111/jiec.13368>
- Marouani, I.; Guesmi, T.; Alshammari, B.; Alqunun, K.; Alzamil, A.; Alturki, M. & Hadj, H. (2023). Integration of Renewable-Energy-Based Green Hydrogen into the Energy Future. *Processes*, 11(9), 2685. <https://doi.org/10.3390/pr11092685>
- Ministerio de Economía y Finanzas (2015). Decreto Legislativo 1224. *Por la cual se declara el Marco de Promoción de la Inversión Privada mediante Asociaciones Público-Privadas y Proyectos en Activos*. 25 de setiembre de 2015 <https://www.gob.pe/institucion/mef/normas-legales/226837-1224>
- Ministerio de Economía y Finanzas (2018) Decreto Legislativo 1362. *Por la cual se declara la Ley de Promoción de Inversión Privada en Infraestructura de Servicios Públicos*. 23 de julio de 2018. <https://www.gob.pe/institucion/mef/normas-legales/226844-1362>
- Ministerio de Energía (2020). *Estrategia Nacional Hidrógeno Verde*. Gobierno de Chile. https://energia.gob.cl/sites/default/files/estrategia_h2_-_espanol2022.pdf

- Ministerio de Energía (29 de junio de 2021). *Chile y Alemania firman acuerdo para impulsar el hidrógeno verde*. Gobierno de Chile. <https://bit.ly/48MkaED>
- Ministerio del Ambiente (2022). Decreto Supremo 003-2022-MINAM. *Por la cual se declara de interés nacional la emergencia climática*. 25 de enero de 2022. <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/2715982-003-2022-minam>
- Molina, J., Lefebvre, G. & Gómez, M. (2023). Study of the thermal comfort and the energy required to achieve it for housing modules in the environment of a high Andean rural area in Peru. *Energy and Buildings*, 281, 112757. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112757>
- Muñoz-Fernández, A.; Beleño-Mendoza, W. & Díaz-Consuegra, H. (2022). Análisis del potencial del uso de hidrógeno verde para reducción de emisiones de carbono en Colombia. *Fuentes, El reventón energético*, 20(1), pp. 57-72. <https://doi.org/10.18273/revfue.v20n1-2022006>
- Nadaleti, W.; Borges dos Santos, G. & Lourenço, V. (2020). The potential and economic viability of hydrogen production from the use of hydroelectric and wind farms surplus energy in Brazil: A national and pioneering analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(3), 1373-1384. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.08.199>
- Oliveira, A., Beswick, R. & Yan, Y. (2021). A green hydrogen economy for a renewable energy society. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 33, 100701. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2021.100701>
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2019). *Energías renovables experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Presidencia del Consejo de Ministros. <https://bit.ly/3M6bBLG>
- Panchenko, V.; Daus, Y.; Kovalev, A.; Yudaev, I. & Litt, Y. (2023). Prospects for the production of green hydrogen: Review of countries with high potential. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(12), 4551-4571. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.084>
- Presidencia del Consejo de Ministros (1991). Decreto Legislativo 662. *Por la cual se otorgan un régimen de estabilidad jurídica a las inversiones extranjeras mediante el reconocimiento de ciertas garantías*. 2 de setiembre de 1991. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/1441654-662>
- Rodríguez, G. (2019). Economía ecológica: hacia una ecología en la enseñanza de la economía. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (3), pp. 89-104. <https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201901.004>
- Sadik-Zada, E.; Santibanez, E.; Gatto, A.; Althaus, T. & Quliyev, F. (2023). Pathways to the hydrogen mobility futures in German public transportation: A scenario analysis. *Renewable Energy*, 205, pp. 384-392. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.12.087>
- Watabe, A.; Leaver, J.; Shafiei, E. & Ishida, H. (2020). Life cycle emissions assessment of transition to low-carbon vehicles in Japan: combined effects of banning fossil-fueled vehicles and enhancing green hydrogen and electricity. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(9), 1775-1793. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01917-9>
- World Economic Forum (2023). *Fostering Effective Energy Transition*. https://www3.weforum.org/docs/WEF_Fostering_Effective_Energy_Transition_2023.pdf

- Yang, W-C. & Lu, W-M. (2023). Achieving Net Zero-An Illustration of Carbon Emissions Reduction with A New Meta-Inverse DEA Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 4044. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054044>
- Zhou, Y., Li, R., Lv, Z., Liu, J., Zhou, H. & Xu, C. (2022). Green hydrogen: A promising way to the carbon-free society. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 43, pp. 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2022.02.001>