



Bases regulatorias para la integración del hidrógeno verde en Perú

Por Diana Lizárraga Sánchez

SANTIVÁÑEZ
CAPELLA
ROCHA
SÚMAR
REYES



1. INTRODUCCIÓN

Bajo la asunción de que la intervención del ser humano y sus industrias están generando un cambio climático acelerado en la Tierra, en los años noventa se inició un debate global sobre la necesidad de reemplazar las energías fósiles por otras que emitan menos gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera¹⁵.

Como resultado, varios países suscribieron la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que entró en vigor en 1994, y que refleja como objetivo común de los Estados parte estabilizar las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Luego vinieron el Protocolo de Kioto (vigente entre el 2005 y 2020), los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el año 2015 y el Acuerdo de París que entró en vigor en noviembre 2016. Este último en particular incluyó el compromiso global de mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 2°C por encima de los niveles preindustriales, con esfuerzos para limitar el aumento a 1.5°C. Luego, en 2018, el Panel Intergubernamental de Expertos sobre

¹⁵ El efecto invernadero se produce “cuando el CO₂ y otros gases como el ozono, vapor de agua, óxido nítrico, etc., se acumulan en la atmósfera reteniendo el calor que genera la radiación solar. Estos gases (...) son producto tanto de la naturaleza (provenientes de la evaporación de las aguas del mar, erupciones volcánicas, etc.) como de la actividad (principalmente industrial) humana. La propia naturaleza tiene una capacidad de absorción (o carga) de estos gases sin que se generen mayores cambios en el medio ambiente, pero en los últimos años el crecimiento poblacional y el mayor nivel de actividad económica ha generado una mayor emisión de estos gases por encima de dicha capacidad de absorción, dando como resultado mayores temperaturas y cambios en las condiciones ambientales.” (Chirinos, 2021)

Cambio Climático expresó que la ventana de oportunidad para reducir las emisiones de GEI se cerrará más rápido de lo inicialmente pensado (IRENA, 2021).

Con ello en mente, en varios países se viene impulsando una transición del uso de combustibles fósiles hacia el mayor uso de energías renovables. En ese contexto, el hidrógeno “verde” ha venido ganando atención por ser una forma innovadora de producción de hidrógeno que se considera más limpia y sostenible en comparación con otras fuentes de ese elemento: para su producción se requiere principalmente agua y electricidad generada a partir de fuentes renovables y su combustión no genera GEI.

Ahora bien, para promover el desarrollo seguro y sostenible de la industria del hidrógeno verde, es importante que los países desarrollen políticas públicas y marcos regulatorios sólidos y adaptados a su realidad. Aunque en el Perú ya se están evaluando ciertas iniciativas legislativas para impulsar la producción y el uso del hidrógeno verde, todavía queda un largo camino por recorrer.

Este artículo tiene como finalidad ofrecer ciertas bases generales para la regulación del hidrógeno verde. En primer lugar, se presentan las características generales del hidrógeno y sus métodos de obtención, incluido el proceso de producción de hidrógeno verde. En segundo lugar, se describen las ventajas y desventajas alrededor de su producción y uso. En tercer lugar, se resalta cómo una regulación efectiva debiera abordar aspectos fundamentales, tales como la gobernanza, la estimulación de la demanda y la inversión, así como la garantía de la seguridad y eficiencia en la producción y distribución. Por último, se examina el progreso alcanzado por Perú en términos de promoción y regulación del hidrógeno verde.

2. EL HIDRÓGENO Y SUS PROCESOS PRODUCTIVOS

El hidrógeno es el elemento químico más ligero y abundante en el universo (UCU, 2022). Es el primer elemento de la tabla periódica, formado por un protón y un electrón (Eterovic, 2023). En condiciones normales de temperatura y presión, el hidrógeno es un gas liviano, incoloro, inodoro, insípido, no tóxico, no corrosivo, asfixiante en caso de inhalación y altamente inflamable. Suele encontrarse unido con otros elementos en la Tierra, como el oxígeno para formar agua (H_2O), el carbono para hidrocarburos (CH), el nitrógeno para el amoníaco (NH_3), entre otros. Por lo mismo, requiere del desarrollo de métodos químicos y de una fuente de energía para aislarlo, en otras palabras, se debe manufacturar para utilizarlo en la industria humana (Rodríguez, 2022).

Por sus características, el hidrógeno es considerado un insumo de procesos industriales, un combustible, así como un acumulador y vector energético (UCU, 2022). En ese sentido, entre sus principales aplicaciones, tenemos que el hidrógeno se utiliza como materia prima para la industria petroquímica, en la refinera del petróleo, en la síntesis de amoníaco (producción de fertilizantes), en la producción de metanol o en la licuefacción del carbón, entre otros (Eterovic, 2023). El hidrógeno también se puede utilizar como combustible en motores de combustión interna y puede alcanzar temperaturas de 1000°C al quemarse en pilas de combustible para producir electricidad (UCU, 2022).

La producción global de hidrógeno alcanzó alrededor de 120 millones de toneladas (Mt) en 2020 (IRENA, 2021). En los últimos 20 años, la demanda anual de hidrógeno ha experimentado un marcado crecimiento, alrededor del 50%. En términos de producción, China lidera el panorama como el principal productor y consumidor, habiendo generado aproximadamente 24 Mt en 2020. Le sigue Estados Unidos con una producción de 11.3 Mt (IRENA, 2022).

Hay varias formas de obtener hidrógeno, cada una con sus propias ventajas y desventajas en términos de disponibilidad de materias primas, viabilidad técnica, eficiencia energética, costos y huella de carbono. Aun cuando el hidrógeno es incoloro, se le asigna un determinado color como nomenclatura en función a la materia prima, al método que se haya empleado para su obtención y la huella de carbono asociada a su producción (Martinez, 2021), tal como se resume en la siguiente tabla:

Gráfico N° 1: El espectro de color del hidrógeno

	Nomenclatura	Tecnología	Materia prima / Fuente de electricidad	Huella de Carbono
PRODUCIDOS POR ELECTRICIDAD	Hidrógeno verde	Electrolisis	Eólica Solar Hídrica Geotérmica Mareomotriz	Mínima
	Hidrógeno rosa		Nuclear	
	Hidrógeno amarillo		Origen mixto	
PRODUCIDOS POR COMBUSTIBLES FÓSILES	Hidrógeno azul	Reforma de Gas Natural + Gasificación CCUS + CCUS	Gas Natural Carbón	Baja
	Hidrógeno turquesa	Pirólisis	Gas Natural	Carbón sólido (sub producto)
	Hidrógeno gris			Reforma de Gas Natural
	Hidrógeno marrón	Gasificación	Carbón pardo (lignito)	Alta
	Hidrógeno negro		Carbón negro	

Fuente: (Global Energy Infrastructure, 2021) ¹⁶

¹⁶ Traducción propia.

Actualmente, casi toda la producción tradicional de hidrógeno en el mundo podría clasificarse como **hidrógeno gris**, ya que se produce a partir de refinerías o plantas de procesamiento de gas, a través de reacciones químicas para separar el hidrógeno del metano presente en el gas natural¹⁷. Se le denomina hidrógeno gris porque se obtiene a partir de hidrocarburos y emitiendo GEI a la atmósfera (Ensinck, 2021). Solo en su producción se emiten alrededor de 9 kgCO₂/kgH₂ (IRENA, 2021). Al ser aún una de las formas más económicas, representa alrededor del 95% de la producción total de hidrógeno según datos de IEA (2021).

Por su parte, el **hidrógeno azul** utiliza los mismos procesos térmicos, como el reformado de metano con vapor y el reformado autotérmico para dividir el gas natural o el carbón en hidrógeno y CO₂; sin embargo, en este caso se captura y almacena el CO₂, de modo que así se disminuyen las emisiones que van a dar a la atmósfera. Este proceso se conoce como *Carbon Capture Utilization Storage* (CCUS) y es una importante tecnología de reducción de emisiones. Según algunos estudios, esto puede reducir significativamente las emisiones netas de carbono en comparación con el hidrógeno gris (producido sin CCUS)¹⁸.

Cabe mencionar al **hidrógeno rosa** (también conocido como hidrógeno púrpura o rojo) que es obtenido empleando energía nuclear, a través de procesos como la electrólisis nuclear térmica o la termólisis termoquímica. Al no generar emisiones, este proceso es atractivo para aquellos países que ya cuentan con un parque nuclear instalado, como es el caso de Francia (Rodríguez, 2022). Sin embargo, no pueden dejar de mencionarse los retos de seguridad y manejo de residuos nucleares que plantea esta alternativa.

Por su lado, el **hidrógeno verde** utiliza electricidad generada por fuentes renovables para extraer hidrógeno del agua (H₂O) mediante un proceso denominado electrólisis. Dicho proceso utiliza la corriente eléctrica para separar el hidrógeno del oxígeno que hay en el agua, por lo que el residuo que deja este proceso es generalmente vapor de agua, siendo que no emite monóxido (CO) ni dióxido (CO₂) de carbono a la atmósfera.

Actualmente, hay cuatro tipos de electrólisis: alcalina, ácida (membrana polimérica) y membrana de intercambio aniónico, que trabajan a temperaturas menores a 60 - 80°C, y el óxido sólido, que funciona a temperaturas más altas

¹⁷ La producción de hidrógeno gris es responsable del 6% del consumo total de gas natural a nivel mundial (IEA, 2021).

¹⁸ No obstante, según un estudio de Howarth y Jacobson (2021), las emisiones de GEI de la producción del hidrógeno azul son bastante altas, particularmente debido a la liberación de metano: “*Si bien las emisiones de dióxido de carbono son más bajas, las emisiones fugitivas de metano para el hidrógeno azul son más altas que para el hidrógeno gris debido a un mayor uso de gas natural para impulsar la captura de carbono. Tal vez sorprendentemente, la huella de gases de efecto invernadero del hidrógeno azul es más de un 20 % mayor que la quema de gas natural o carbón para calentar y un 60 % mayor que la quema de gasóleo para calentar.*” (traducción propia).

(>700 °C) (IRENA, 2021). En todos ellos se necesita agua, tanto si es obtenida del mar y tiene que ser desalada, como si proviene de una fuente de agua dulce, en cuyo caso de todos modos se deben extraer minerales (Martínez, 2021). La cantidad de agua que se consume dependerá de la eficiencia del equipo de electrólisis y de la fuente de energía utilizada para generar la electricidad. Según distintas fuentes, si bien en el contexto de la reacción química, se necesitan entre **9 y 10 litros de agua** purificada¹⁹ para producir un kilogramo de hidrógeno verde (Blanco, 2021), se requiere otro tanto de agua sin tratar para los procesos vinculados al suministro y efluentes²⁰.

Por otro lado, aunque resulta imposible afirmar que el hidrógeno verde no tiene huella de carbono, su producción y combustión no producen GEI y, para muchos, es uno de los métodos más prometedores para la producción de energía sostenible en el futuro, pudiendo liderar la transición energética y la descarbonización (Global Energy Infrastructure, 2021). De esta manera, el hidrógeno verde se presenta como una solución para las grandes industrias que requieren abundantes cantidades de energía y que en paralelo buscan ser respetuosas con el medio ambiente (Howarth & Jacobson, 2021).

De acuerdo con la UCU (2022), si bien en la actualidad solo el 3% de la producción de hidrogeno mundial es verde, al comparar las proyecciones de producción de hidrógeno al 2050 realizadas por IRENA, IEA y otros organismos, se puede concluir que la producción de hidrógeno gris hacia el 2050 desaparecerá, siendo sustituido en gran medida por hidrógeno verde y en menor proporción por hidrógeno azul. Asimismo, se estima que la producción total de hidrógeno (verde y azul) aumentará de 5 a 8 veces. En cualquier caso, como veremos más adelante, la velocidad de desarrollo de esta fuente energética dependerá de la disponibilidad de excedentes de electricidad renovable y los costos de

¹⁹ De acuerdo con Blanco (2021), un agua de baja calidad puede provocar una degradación más rápida y una vida útil más corta de los electrolizadores. Muchos elementos, incluidos el diafragma y los catalizadores para alcalinos y la membrana y la capa de transporte porosa para PEM, pueden verse afectados negativamente por las impurezas del agua como hierro, cromo, cobre, entre otros.

²⁰ Según Blanco (2021), teniendo en cuenta el proceso de desmineralización del agua, la relación de consumo puede oscilar entre 18 kg y 24 kg de agua por kg de hidrógeno o incluso hasta 25,7-30,2Kg. A ello, tendría que sumarse el agua requerida para la generación de la energía eléctrica renovable. El consumo total de agua para hidrógeno procedente de energía fotovoltaica y eólica sería, en promedio, de alrededor de 32 y 22 kgH₂O/kgH₂ respectivamente. Según Blanco, este consumo de agua es del mismo orden de magnitud que la producción de hidrógeno a partir de gas natural (7,6-37 kgH₂O/kgH₂ con una media de 22 kgH₂O/kgH₂).

Por su parte, Novo (2023), siguiendo un análisis realizado por GHD, afirma que se necesitarían entre 60 y 95 litros de agua por kg de hidrógeno verde producido. Precisa que, además del agua que se necesitaría según las proporciones en la reacción química, se deberán cubrir las “necesidades de refrigeración del sistema, el tratamiento del agua bruta para cumplir los requisitos de alta pureza del electrolizador y la eliminación del efluente residual, que puede necesitar tratamiento debido a la concentración de impurezas del agua de aporte”. Señala además que el tipo de portador de hidrógeno también debe tenerse en cuenta al calcular la demanda de agua total. Agrega que, según el referido estudio, “las necesidades de agua disminuyen drásticamente con un sistema refrigerado por aire, hasta unos 18 litros por kg de hidrógeno, pero requeriría más capital y energía. También se supone que el agua bruta es agua dulce y de calidad relativamente buena. Si el agua bruta es salobre, agua de mar o agua residual industrial, el volumen de agua bruta aumentaría [entre 2,5 y 5 veces], así como el efluente/salmuera” (traducción propia).

oportunidad. Por lo pronto, entre los 20 megaproyectos de producción de hidrógeno verde anunciados, destacan en la región los de Magallanes de Chile (8GW) y Base One de Brasil (2GW) (UCU, 2022)²¹.

Por otro lado, aun cuando no se muestran en el Gráfico N° 1, es oportuno mencionar al “**hidrógeno blanco**”, que es aquel que se encuentra aislado de forma natural en bolsas subterráneas (Rodríguez, 2022). Asimismo, tenemos al “**hidrógeno biológico**”, aún en desarrollo, y que toma el hidrógeno producido como subproducto del metabolismo de algunos microorganismos, como las bacterias (Roca, 2021). Además, se encuentra el “**hidrógeno solar**”, el cual se genera a través de un proceso llamado fotoelectrólisis, mediante el cual la energía solar concentrada puede utilizarse para descomponer directamente el agua en hidrógeno y oxígeno. En esa línea, existen otros procesos que aún no han alcanzado una escala comercial (e.g. división termoquímica del agua, fotocatalisis, fermentación oscura combinada, entre otros) que a veces suelen ser llamados “verdes” bajo una connotación ecológica, pero que no son considerados como hidrógeno verde para este trabajo.

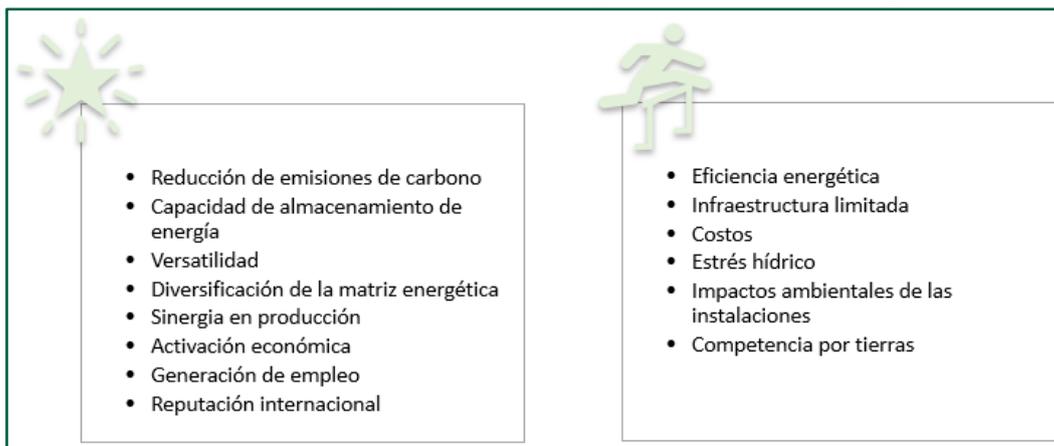
Según el IRENA (2021) para almacenar hidrógeno actualmente existen principalmente dos opciones: tanques y formaciones geológicas subterráneas, con un rango de costos entre US\$ 0.2/kg y US\$1/kg. Asimismo, señala que, para transportarlo de manera eficiente, éste puede ser comprimido, licuado, sintetizado a otros portadores de energía (como el amoníaco, el metano, el metanol, moléculas orgánicas líquidas o hidrocarburos líquidos, que poseen una mayor densidad de energía) o almacenado por ad/absorción en matrices sólidas. En el caso de volúmenes reducidos y distancias cortas, el transporte en camiones de hidrógeno comprimido resulta viable; sin embargo, para largas distancias, suele optarse por el transporte en estado líquido. El costo dependerá del volumen transportado, la distancia recorrida y el portador empleado.

3. CONSIDERACIONES SOBRE EL HIDRÓGENO VERDE

Como toda fuente energética, la producción y uso del hidrógeno verde tiene ciertas ventajas y desventajas en varios aspectos, que deben ser consideradas por cada país al decidir si promoverlo o no como alternativa y al desarrollar su marco regulatorio.

²¹ A menor escala, se empiezan ya a inaugurar y anunciar proyectos en Sudamérica. Por ejemplo, en agosto 2023, Chile inauguró su primera planta de producción de hidrógeno para cargar baterías de grúas montacargas de supermercados Walmart, iniciativa que se desarrolló de la mano con el grupo energético francés Engie y consideró una inversión aproximada de US\$ 15 millones.

Gráfico N° 2: Beneficios y desafíos a la producción de hidrógeno verde



Fuente: Elaboración propia

Entre los aspectos positivos o atributos más relevantes que puede estimar un país para promover el hidrógeno verde tenemos los siguientes:

- **Reducción de emisiones de carbono:** La principal ventaja del hidrógeno verde es su baja huella de carbono (comparada por ejemplo al hidrógeno gris o azul). No se emiten GEI durante su producción o combustión. En ese sentido, promover su uso podría contribuir en la transición hacia una economía baja en carbono. En especial, se espera que permita la descarbonización de sectores de alto impacto, como el transporte, y las industrias que son difíciles electrificar (UCA, 2022).
- **Capacidad de almacenamiento de energía:** El hidrógeno verde puede actuar como un medio de almacenamiento de energía a gran escala (IRENA, 2021). Cuando se produce en un momento en que hay un exceso de energía renovable, el hidrógeno puede almacenarse y usarse más tarde para generar electricidad o como combustible cuando no hay energías renovables disponibles.
- **Versatilidad:** Como señalamos anteriormente, el hidrógeno verde puede emplearse de distintas formas. Por ejemplo, puede transformarse en electricidad o emplearse como materia prima en procesos para hacer amoníaco sintético para fertilizantes o metanol como sustituto de la gasolina, refinar petróleo y obtener acero. Por lo mismo, puede ser utilizado con una variedad de fines, ya sea para movilidad, generación de energía, calefacción, etc. Su versatilidad lo convierte en una opción atractiva para descarbonizar diversos sectores claves como el transporte, la minería y la industria.
- **Diversificación de la matriz energética:** Los países pueden diversificar su matriz energética, reduciendo su dependencia de los recursos no

renovables, mediante la incorporación del hidrógeno verde (produciéndolo ellos mismos o importándolo).

- **Sinergia en producción:** Para aquellos países que tienen gran potencial para la generación de energía renovable, como la solar y la eólica, hace sentido utilizar estos recursos para la producción de hidrógeno verde. Asimismo, hay quienes, en la necesidad de purificación del agua, identifican una oportunidad comercial para las empresas de agua y saneamiento, pues podrían impulsar las tecnologías de tratamiento e incluir el proceso de producción de hidrógeno en sus instalaciones de aguas residuales (Bluetech Research, 2023).
- **Activación económica:** Involucrar a empresas y actores locales en la producción y el uso de hidrógeno verde puede estimular el desarrollo de una industria nacional en esta área, lo que a su vez puede impulsar la economía y la innovación. Asimismo, si se desarrolla una capacidad sólida para la producción de hidrógeno verde, se pueden considerar proyectos de exportación de este combustible.
- **Generación de empleo:** La adopción del hidrógeno verde puede impulsar la creación de empleo en áreas como la producción, infraestructura, investigación y desarrollo, contribuyendo al crecimiento económico y al bienestar de la población.
- **Reputación internacional:** Promover el hidrógeno verde puede ayudar a cumplir con los compromisos internacionales de los Estados en materia de sostenibilidad y reducción de emisiones, como los establecidos en el Acuerdo de París. Los países pioneros seguramente serán reconocidos como “más” comprometidos con la integración de energías más limpias y sostenibles.

Sin embargo, no todo es maravilloso. El hidrógeno en general afronta ciertos cuestionamientos dada su baja densidad energética, las dificultades que hay para almacenarlo y transportarlo, su tendencia a filtrarse y su alta inflamabilidad (IRENA, 2021; Chemes & Proaño, 2021). En adición, el hidrógeno verde debe lidiar con otros retos particulares que, si bien podrían tener matices a razón de las características de cada jurisdicción, deben ser ponderadas en el análisis regulatorio:

- **Eficiencia energética:** Aunque el proceso de electrólisis es eficiente, aún existe pérdida de energía en la conversión de electricidad a hidrógeno y en la posterior conversión de hidrógeno en electricidad o energía mecánica. Esto puede resultar en una eficiencia total menor en comparación con otros métodos de almacenamiento y generación de energía²².

²² Según la UCU (2022), para poder producir 1kg de hidrógeno por electrólisis se requiere aproximadamente entre 55 a 60 kilowatts hora (kWh). Esto implica que para producir 500 Mt de

- **Infraestructura limitada:** La infraestructura necesaria para producir, almacenar, cargar y distribuir hidrógeno verde, todavía está en desarrollo en muchos lugares. Esto limita su disponibilidad y uso masivo. Algunos críticos argumentan que esta infraestructura puede ser costosa y llevará tiempo construirla²³. Es importante tener en cuenta que, según IRENA, la producción de hidrógeno verde debería aumentar seis veces para alcanzar carbono neutralidad en 2050; y según IEA, cinco veces, ello implicará una ampliación significativa de electrolizadores.
- **Costos:** Probablemente el mayor desafío que enfrenta el hidrógeno verde es reducir su alto costo de producción, que depende, principalmente, de los costes de capital de la electrólisis y el precio de la energía eléctrica utilizada para dicha producción (Serrano & Fernández, 2022), pero también de la escala de producción y la infraestructura disponible.

Algunos críticos señalan que los costos iniciales de infraestructura y tecnología hacen al hidrógeno verde generalmente inviable. Sin embargo, también debemos reconocer que su coste ha disminuido en los últimos años debido al aumento de la capacidad de generación de energía renovable en algunos países y los avances en la tecnología de electrólisis.

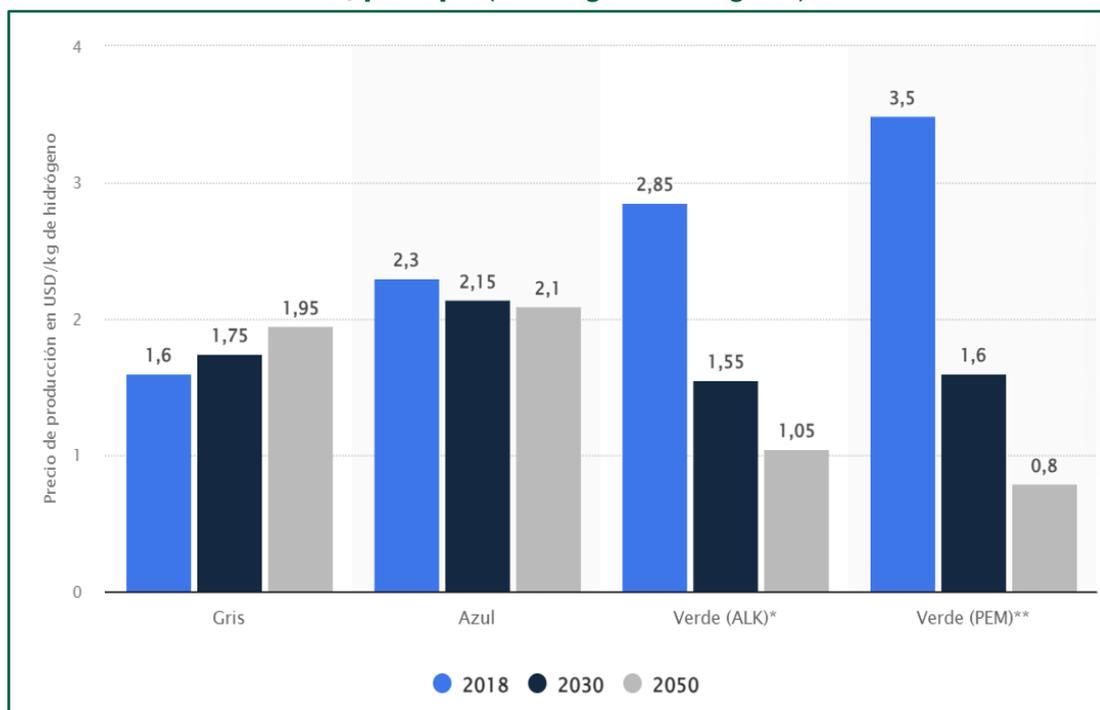
De hecho, se prevé que el coste de la producción de hidrógeno se reduzca 50 % para 2030 (IEA, 2019) y 64% para el 2040 (Wood Mackenzie, 2020). Como referencia, el costo del hidrógeno verde generalmente se mide en US\$/kgH₂ o €/kgH₂, es decir, por el costo por kilogramo de hidrógeno producido. Las estimaciones pueden variar, pero en 2018 el costo de producir hidrógeno verde a partir de membranas poliméricas (PEM)²⁴ fue de US\$3,50/kg de hidrógeno, mientras que el costo de producir hidrógeno gris fue aproximadamente la mitad, equivalente a US\$1,6/Kg. Sin embargo, las proyecciones para 2050 indican que disminuirá significativamente, por lo que podría llegar a costar por debajo de un dólar en el caso del hidrógeno verde PEM, conforme se aprecia en el Gráfico N° 3.

hidrógeno se requieren entre 27500 a 30000 TWh, o sea, entre 99 y 108 EJ. Sin embargo, también encontramos quienes señalan que, para producir 1 kg de hidrógeno se requiere 33 kWh (Martínez, 2021).

²³ Según el IRENA (2021), en el año 2020, en todo el mundo, existían solo 5,000 kilómetros de tuberías de transmisión de hidrógeno verde frente a los más de 3 millones de kilómetros para gas natural.

²⁴ El costo de un electrolizador alcalino (ALK) es el más bajo del mercado, pero se espera que a la larga el costo de un electrolizador PEM sea el mismo o incluso menor (UCU, 2022).

Gráfico N° 3: Precio de la producción del hidrógeno para 2018, 2030 y 2035, por tipo (US\$/kg de hidrógeno)



Fuente: STATISTA (2022)

En adición, se deben considerar los costos vinculados a la (re)conversión, transporte y almacenamiento. Según IRENA (2021), costes de conversión y traslado demasiado elevados harían que el transporte de hidrógeno verde no sea económicamente sostenible y los electrolizadores sólo se construyan cerca de grandes centros de demanda.

En el contexto del Perú, según un estudio realizado por Engie Impact para la asociación H2 Perú, el costo nivelado del hidrógeno verde más el transporte en 2030 podría rondar los US\$2,51-5,23/kg. El costo de transporte representaría un 30% pero bajaría a 14% y 13% en 2040 y 2050, respectivamente, con un mayor consumo.

- **Estrés hídrico:** Algunos consideran que la demanda hídrica de la industria del hidrógeno verde no tendrá un impacto global relevante comparado a otros usos²⁵ y resaltan la abundancia de agua que hay en el planeta Tierra. Sin embargo, no podemos perder de vista que la distribución de este recurso natural no es uniforme y que el agua que se utilice para el hidrógeno verde

²⁵ Blanco (2021) admite que habrá gran crecimiento en el consumo de agua debido al cambio a la vía electrolítica y al crecimiento de la demanda, considera que el consumo de agua para la producción de hidrógeno seguirá siendo mucho menor que otros usos dados por el ser humano: “suponiendo que el mundo utilice más de 70EJ de hidrógeno verde para 2050, el consumo de agua será de aproximadamente 25 bcm (millardos de metros cúbicos). Eso es relativamente pequeño en comparación con la cifra global de 2800 bcm para la agricultura (el mayor consumidor), 800 bcm para usos industriales y 470 bcm para usos municipales. Equivaldría a un país desarrollado con 62 millones de habitantes (400 m3/cápita)” (traducción propia).

será adicional a la que ya se emplea para otros fines. En algunas zonas donde el agua ya escasea, un aumento de la demanda podría agravar la escasez existente, lo que podría plantear serias preocupaciones ambientales y generar conflictos sociales (**Bluetech Research, 2023; Blanco, 2021**). Aun cuando existe la opción de utilizar agua de mar desalinizada, las plantas desalinizadoras producen salmuera, cuyo vertimiento al mar puede aumentar su temperatura y reducir la cantidad de oxígeno en dicho ecosistema, lo que causaría graves daños a la vida acuática (Chemes & Proaño, 2021). Frente a ello, se plantea la alternativa de emplear aguas residuales tratadas (Novo, 2023). En todo caso, el impacto en el consumo de agua es un tema que deberá evaluarse en función a la ubicación de cada proyecto.

- **Impactos ambientales de las instalaciones:** Que la combustión del hidrógeno verde emita sólo vapor no significa que todo su proceso de producción sea inocuo (Chemes & Proaño, 2021). La producción de hidrógeno verde demanda grandes cantidades de electricidad, que será generada principalmente por parques solares o eólicos. Esto pone sobre la mesa los GEI e impactos ambientales asociados a la construcción de las instalaciones para la generación de electricidad renovable. Además, se resalta la necesidad de minerales como cobre y litio, cuya producción ha tenido cuestionamientos del tipo socioambiental en los países donde son extraídos (Chemes & Proaño, 2021) y que requieren medidas especiales de seguridad para su disposición final. También se advierte acerca de la posible emisión de GEI durante su transporte (particularmente si es a través de camiones que empleen combustibles fósiles) (IRENA, 2021). Sin embargo, si comparamos dichos impactos a aquellos derivados de la exploración, producción y uso de combustibles de origen fósil, el balance probablemente sea favorable.
- **Competencia por tierra:** En tanto se basa en proyectos de energía eólica y solar, la expansión de la producción de hidrógeno verde a gran escala en algunos países podría competir por el uso de tierras que también podrían destinarse a la agricultura, la conservación u otros usos. Esto podría tener implicaciones sociales y para la biodiversidad.

Ahora bien, a pesar de los inconvenientes mencionados y el grado de incertidumbre que existe en torno a ciertos aspectos, la investigación y la inversión en tecnologías de producción de hidrógeno verde siguen en aumento. Esto podría llevar en el mediano plazo a mejoras en su eficiencia, a la reducción de sus costos y a la mitigación de su impacto ambiental y, en consecuencia, a su mayor adopción en el futuro.

Por otro lado, es importante destacar que los puntos de vista críticos no son compartidos por todos y deben ser considerados en un contexto más amplio que incluya los beneficios y desafíos del hidrógeno verde en relación con otras fuentes

de energía y tecnologías. Así pues, se debe tener presente que la opinión sobre el hidrógeno verde puede variar según la perspectiva de cada país o entidad involucrada y las consideraciones específicas de cada región o industria.

Por ejemplo, si partimos del hecho que el Perú (aún) tiene importantes reservas de gas natural y éste quisiera priorizar su uso y estimara técnica y económicamente viable implementar la tecnología de captura de carbono a gran escala, el país podría decidir anteponer la producción de hidrógeno azul. Por otro lado, si consideramos que el Perú tiene acceso a abundantes fuentes de energía renovable, no tuviera escasez de agua y quisiera priorizar una estrategia agresiva de cero emisiones, la balanza se inclinaría más hacia el hidrógeno verde.

En cada caso, la elección dependerá de la capacidad del país para desarrollar y aprovechar sus recursos energéticos, la infraestructura existente, las prioridades de sostenibilidad, así como de consideraciones económicas y ambientales. Sin embargo, en última instancia, una combinación de diferentes formas de hidrógeno podría ser una opción viable para aprovechar diferentes recursos y abordar diversas necesidades energéticas y de sostenibilidad.

4. ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA REGULACIÓN DEL HIDRÓGENO VERDE

Para aprovechar las ventajas del hidrógeno verde y enfrentar los desafíos comentados en la sección 3) de este trabajo, será necesario que cada país desarrolle, entre otras cosas, un marco jurídico adecuado, sólido, propicio y claro. Para ello, se deben tener en cuenta varios aspectos importantes, tales como los que se mencionan a continuación.

- a) Participación y coordinación:** La regulación del hidrógeno verde requiere la coordinación entre diferentes sectores y actores, incluyendo el gobierno, la industria, la academia y la sociedad civil. Involucrar a todos ellos en la formulación de políticas y regulaciones puede garantizar que se aborden todas las perspectivas y se tomen decisiones informadas.
- b) Planificación estratégica:** Es fundamental actualizar las políticas y planes energéticos y ambientales del país, de modo que reflejen una visión e incluya objetivos específicos para la producción y el uso del hidrógeno verde²⁶. Estos objetivos pueden abarcar áreas como la generación de energía, el transporte y la reducción de emisiones de carbono.

²⁶ Por ejemplo, el 9 de noviembre de 2021, Chile publicó la versión final de su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde, con tres metas específicas: i) producir el H₂V más barato del planeta para 2030; ii) estar entre los tres principales exportadores para 2040; y iii) contar con 5 Gigawatt de capacidad de electrólisis en desarrollo para 2025.

Es fundamental que cada país identifique sus propias capacidades y prioridades, en base a un análisis costo-beneficio integral, considerando los impactos socioeconómicos y ambientales antes comentados. En ese sentido, cada jurisdicción debe evaluar si, en función a las fuentes de energía renovable con las que cuente y la capacidad de su desarrollo, conviene centrar las medidas legislativas en lograr que la producción de hidrógeno verde alcance costos competitivos (con miras inclusive a exportarlo), o tal vez se concluye que, dada su realidad, es preferible importarlo (Serrano & Fernández, 2022) o tal vez quiera brindar apoyo a otras tecnologías más maduras.

Además, se deben identificar las áreas y sectores donde el hidrógeno verde puede tener un mayor impacto, así como las oportunidades y los nichos de mercado, tanto a nivel nacional como internacional, considerando los aspectos de conectividad y logística, los costos y la competitividad.

Por otro lado, no debe obviarse la planificación territorial y del uso del recurso hídrico. Para facilitar el proceso, podría evaluarse la conveniencia de preestablecer determinadas locaciones en las que se promueva (a través de ciertos incentivos) el desarrollo de proyectos energéticos basados en hidrógeno verde.

- c) Gobernanza y articulación:** Por un lado, se debe establecer un marco institucional y de competencias claro; del otro, es importante establecer mecanismos de colaboración y diálogo para asegurar una implementación efectiva y una integración exitosa del uso de este energético. Así, por ejemplo, deben establecerse mecanismos de articulación entre diferentes sectores, como energía, producción, transporte, industria, minería, medio ambiente y economía y finanzas, para maximizar los beneficios del hidrógeno verde, evitar duplicidades innecesarias y eliminar barreras burocráticas.
- d) Regulación de la cadena de valor:** La regulación del hidrógeno verde debe incluir todas las etapas de la cadena de valor (producción, almacenamiento, transporte, distribución, uso final, incluyendo la sintetización de subproductos verdes). En línea con ello, también se debe prever el uso del hidrógeno verde en los esquemas regulatorios de los sectores del transporte, industria, electricidad, entre otros.
- e) Impacto regulatorio:** La regulación debe incluir mecanismos de monitoreo y reporte para evaluar el progreso hacia los objetivos establecidos y hacer ajustes según sea necesario. Asimismo, es recomendable medir la huella medioambiental del hidrógeno verde a mediano y largo plazo, de modo que pueda ser comparada respecto a otras alternativas disponibles en el mercado.

f) Sistemas de certificación: Conforme señala Schneider (2021), las moléculas de hidrógeno son iguales, por lo que para identificar su origen es imprescindible establecer estándares de calidad, sistemas de certificación y trazabilidad para garantizar la seguridad y confiabilidad del hidrógeno verde producido y sus derivados.

Implementar un sistema de garantías de origen y etiquetado para certificar la producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables y sin emisiones de GEI, promoverá la conciencia del consumidor, fortalecerá la confianza del mercado y facilitará la comercialización del hidrógeno verde tanto a nivel nacional como global. Además, estas certificaciones pueden proporcionar valor añadido a los productores, permitiéndoles acceder a incentivos económicos, fiscales y mercados voluntarios de certificados verdes.

Como bien resume Martínez (2022), *“los beneficios son principalmente cuatro: financieros (incentivos tributarios, exenciones, subsidios, derechos de emisión, etc); cumplimiento de compromisos ambientales (obligación de reducir de emisiones, cuotas); acceso a mercados (demanda global, acuerdos internacionales); y, reputacionales (trazabilidad, transparencia, criterios ESG)”*.

Hallack et al (2021), del Banco Interamericano de Desarrollo, señalan que los atributos que han de certificarse para calificar al hidrógeno como verde son la fuente de insumos, la huella de carbono, la tecnología utilizada para producirlo y la renovabilidad de la energía. Aun así, también plantean las siguientes preguntas: ¿qué grado de renovabilidad debe cumplir la energía eléctrica utilizada para la producción de hidrógeno verde?, ¿cómo se estructurarán los mecanismos de garantía de origen?, ¿cómo se aplican los criterios de adicionalidad? y ¿cómo se controlará el cumplimiento de los requisitos de sostenibilidad social y ecológica durante la producción de hidrógeno verde?

En opinión de Eterovic (2023), sería deseable la implementación de certificaciones de sostenibilidad por etapas, certificándose, en el corto plazo, la carbono-neutralidad de la energía eléctrica utilizada para la electrólisis; en el mediano plazo, la carbono-neutralidad de los equipos utilizados para la generación, almacenamiento, transporte y distribución del hidrógeno verde; y en un largo plazo, incluir otros indicadores de sostenibilidad de interés, como reducción de la pobreza energética.

g) Seguridad: Como ya se ha mencionado, la seguridad es una preocupación fundamental cuando se trata del hidrógeno, ya que es altamente inflamable. Es necesario establecer normas y estándares de seguridad vinculadas a la seguridad en la producción, transporte, almacenamiento y uso del hidrógeno

verde. Esto incluye especificaciones para el diseño, construcción e instalación de infraestructura y equipos, así como prácticas de manejo seguro.

- h) Familiaridad:** Como resalta IRENA (2021), todavía hay muy poco reconocimiento del valor del hidrógeno verde, por lo que tampoco existe una real demanda de productos fabricados con hidrógeno verde. Para incentivar el cambio al hidrógeno verde, es necesario promover el conocimiento y la concienciación sobre sus beneficios y su potencial²⁷. Esto implica campañas de divulgación, educación y sensibilización para generar demanda y apoyo público a esta tecnología.
- i) Inversiones eficientes:** Como se mencionó en la sección 3), una de las limitantes para los proyectos de hidrógeno verde es la falta de infraestructura y disponibilidad de tecnología para su producción y distribución, por lo que se debe promover el flujo de capital para financiarlo. No obstante, en función a las prioridades de uso que se establezcan, deberán promoverse aquellas alternativas de desarrollo de infraestructura e instalaciones que sean más eficientes.
- j) Investigación e innovación:** Es necesario diseñar una política pública que promueva labores de investigación y desarrollo en torno a la cadena productiva y de uso del hidrógeno verde. En ese sentido, establecer programas de investigación y desarrollo que fomenten la innovación en tecnologías puede acelerar la adopción del hidrógeno verde y mejorar la eficiencia de los procesos. Entre otras formas, esto puede lograrse a través de la formación de alianzas entre empresas y universidades.
- k) Brindar incentivos fiscales y apoyo financiero:** En un mercado globalizado, donde todos los países compiten por la atracción de inversiones, se debe considerar establecer rebajas o beneficios fiscales para hacer frente a la competencia de otras jurisdicciones. Asimismo, el gobierno podría ofrecer incentivos y programas de apoyo financiero para impulsar la inversión en tecnologías de hidrógeno verde, desde la producción hasta la infraestructura de distribución y las aplicaciones finales. Esto puede incluir subsidios, préstamos a tasas preferenciales, tarifas preferenciales para la energía renovable utilizada en la producción de hidrógeno, exenciones fiscales u otros mecanismos que impulsen la inversión en esta tecnología (Serrano & Fernández, 2022)²⁸.

²⁷ Para Serrano & Fernández (2022) no debe promoverse el uso del hidrógeno verde en sectores en los que existen alternativas eficientes y menos costosas.

²⁸ Por ejemplo, Chile se ha comprometido a conceder subvenciones por US\$ 50 millones a seis proyectos de hidrógeno verde a lo largo del país, de los cuales US\$ 17 millones están asignados al proyecto Faro del Sur (BARTLETT, 2022).

l) Talento humano: Es importante contar con personal capacitado para la implementación y empleo de tecnologías necesarias para la generación de hidrógeno verde. Además, debe tenerse en cuenta que, aspirando a una transición energética justa, el cambio de una matriz energética fósil a una basada en renovables, en este caso, hidrógeno verde, debe realizarse procurando facilitar el readiestramiento y reubicación de la mano de obra.

m) Internacionalización: Dado que el hidrógeno verde tiene un alcance global, se podría considerar la posibilidad de colaborar con otros países en proyectos de cooperación y acuerdos comerciales relacionados con el hidrógeno.

Cabe precisar que no todos los aspectos mencionados merecerán la aprobación de una regulación que favorezca al hidrógeno verde de manera directa, mencionándolo expresamente, puesto que también es posible regularlos de manera indirecta. Reconocemos que hay aspectos transversales que podrían aplicar a todas o gran parte de las energías renovables u otros objetos de regulación semejantes.

Finalmente, no podemos obviar que la regulación que se defina deberá tener cierta dosis de flexibilidad, adaptarse al contexto y las necesidades del país y evolucionar a medida que la tecnología y la comprensión de sus impactos avancen. Las decisiones regulatorias son importantes para garantizar un desarrollo seguro y sostenible de esta fuente de energía, al tiempo que se promueve su adopción para abordar desafíos como el cambio climático y la diversificación.

5. AVANCE EN LA REGULACIÓN DEL HIDRÓGENO VERDE EN PERÚ

Con el afán de contribuir a un mundo más sostenible y consciente de su vulnerabilidad frente a los posibles estragos del calentamiento global²⁹, el Perú

²⁹ Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, el Perú presenta siete condiciones de vulnerabilidad de las nueve identificadas. Tal como resalta Chirinos (2021), “la postura de nuestro país frente al cambio climático responde no solo a un fin solidario respecto a la comunidad internacional, sino también a la particular situación de riesgo en que el Perú se encuentra frente al fenómeno del calentamiento global. Según Eckstein y otros (2021), el Perú es el cuadragésimo quinto país (posición 45 entre más de 180 países analizados en el índice de riesgo climático de Germanwatch) que más ha sufrido frente a este fenómeno a nivel mundial en los últimos 20 años, y junto con Colombia y Bolivia ha sido el más afectado en Sudamérica. Así, si bien como país contaminamos poco, la externalidad que nos representa el cambio climático demanda que también seamos parte de la solución”

ha desarrollado desde hace ya varios años diversas políticas nacionales³⁰ en torno a la descarbonización de su matriz energética³¹.

Asimismo, el Perú ha aprobado legislación específica en torno al cambio climático³² y la promoción de las energías renovables³³.

Además, aun cuando no es un gran emisor de GEI³⁴ y las reducciones que logre el Perú realmente no van a mover la aguja en las metas globales que se han establecido conforme al Acuerdo de París³⁵, en diciembre del 2020 la Comisión

³⁰ Por ejemplo, de acuerdo con la Política Energética Nacional aprobada por el Decreto Supremo N° 064-2010-EM, el Perú avizora hacia el año 2040 que su sistema energético satisfaga la demanda nacional de manera confiable, regular, continua y eficiente, que promueva el desarrollo sostenible y que se soporte en la planificación y en la investigación e innovación tecnológica continúa. Para ello, por un lado, consideró como su primer objetivo “*contar con una matriz energética diversificada, con énfasis en las fuentes renovables y la eficiencia energética*”, señalando que, para ello, era importante “*promover el uso intensivo y eficiente de las fuentes de energías renovables convencionales y no convencionales*”. Por otro lado, también estableció como objetivo el “*desarrollar un sector energético con mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono en un marco de Desarrollo Sostenible*”. Con ese fin, se señala que se debe “*impulsar el desarrollo y uso de energías limpias y de tecnologías con bajas emisiones contaminantes y que eviten la biodegradación de los recursos*”, entre otras medidas. Por otro lado, en la Política Nacional de Competitividad y Productividad, aprobada por el Decreto Supremo N° 345-2018-EF, se incluyó como Objetivo Prioritario 9 promover la sostenibilidad ambiental en la operación de actividades económicas, promoviendo el uso de energías renovables. Más recientemente, en la Política Nacional del Ambiente al 2030, aprobada por el Decreto Supremo N° 023-2021-MINAM, se priorizó el mejorar el desempeño ambiental de las cadenas productivas y de consumo de bienes y servicios, así como reducir las emisiones de GEI del país.

³¹ Según el Balance Nacional de Energía 2021, “*la base de la generación de energía eléctrica en el país es predominantemente generación hidráulica, seguido por el parque termoeléctrico a base de gas natural. La generación con fuentes renovables no convencionales, principalmente solar y eólica, aun es pequeña. Sin embargo, se espera que su participación sea mayor por la entrada de las centrales comprometidas en las últimas subastas RER (...)*” (MINEM, 2023, p. 135). Según data del MINEM, “*la capacidad instalada del parque de generación eléctrica es 15 340 MW, donde el 90,4% son centrales del mercado eléctrico, y 9,6% de uso propio. De esta capacidad, las tecnologías con mayor participación son las térmicas (termoeléctricas) y luego las hidroeléctricas, con 59,5% y 35,9%, respectivamente. En el caso de las centrales renovables no convencionales, la mayor participación es de las eólicas y solares, con el 2,7% y 1,9% respectivamente*”. Por otro lado, en relación con la participación energética, cabe mencionar que los sectores más intensivos en consumo de energía eléctrica en el Perú lo constituyen el sector comercial y público (17,2%), residencial (21,3%), industrial (25%), y el minero metalúrgico (33,2%). Estos sectores acumulan aproximadamente el 96,6% del consumo total de energía eléctrica del país (MINEM, 2023, p. 143).

³² Tenemos la Ley N° 30754, Ley Marco sobre Cambio Climático; su reglamento aprobado por el Decreto Supremo N° 013-2019-MINAM; la “Estrategia Nacional ante el Cambio Climático” del 2015 y el “Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Perú: un insumo para la actualización de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático”. En este último, el sector energético está integrado a través del área temática del uso del agua para fines energéticos y la problemática del estrés hídrico. En el plan se señala que “*la NDC de mitigación sí contempla el sector energético como uno de los ejes prioritarios para la transición hacia la economía baja en carbono, con medidas enfocadas en energías renovables, eficiencia energética y cambio de combustibles*” (MINAM, 2021).

³³ Cabe destacar el Decreto Legislativo N° 1002, aprobado en el 2008, y su reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 012-2011-EM que promueven la inversión de la generación de electricidad mediante el uso de las energías renovables. Otra norma importante es el Decreto Legislativo N° 1058, que promueve la inversión en la actividad de generación eléctrica a base de recursos hídricos u otros recursos renovables.

³⁴ Según el Balance Nacional de Energía 2021, en el año 2021 el nivel de emisiones de CO₂ por cada unidad de consumo final de energía fue de 57,41 x10³ kg por TJ; en el caso del CH₄ y N₂O se alcanzó un nivel de 0,0459 y 0,0021 x 10³ kg por TJ, respectivamente (MINEM, 2023, p. 116). Chirinos (2021) resalta que Perú y Colombia son los países que menos contaminan de la Alianza del Pacífico; en términos de emisiones totales, el Perú ocupa la posición 54 a nivel mundial, representando tan solo el 0.15% de las emisiones totales.

³⁵ Dicho acuerdo fue ratificado por el Perú mediante el Decreto Supremo N° 058-2016-RE.

de Alto Nivel de Cambio Climático³⁶ anunció que, para el 2030, el país apunta a reducir en 30% las emisiones de GEI como parte de sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés). En adición, el Perú aspira a reducir un 10% adicional si obtiene financiamiento externo internacional. Es decir, en total la meta de reducción de emisiones del Perú al 2030 sería del 40%, lo cual implica que no deberá excederse de las 179 Mt de CO₂ equivalente en el año 2030.

Con ello en la mira, mediante el Decreto Supremo N° 003-2022-MINAM, publicado el 25 de enero de 2022, el Poder Ejecutivo priorizó ciertas acciones para que el país cumpla con el compromiso de NDC al año 2030 y, por primera vez, consideró al hidrógeno verde como un instrumento clave para lograr sus objetivos³⁷: Estableció que el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) diseñaría “programas de promoción para el desarrollo de tecnologías, uso y producción de hidrógeno verde” y que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) actualizaría el Reglamento Nacional de Vehículos, “para promover el ingreso de vehículos eléctricos, híbridos y accionados con hidrógeno verde”.

Si bien el artículo 3 del Decreto Supremo N° 003-2022-MINAM preveía que estas medidas debían realizarse en un plazo no mayor de 180 días hábiles desde su entrada en vigor, ninguna de las medidas se había concretado hasta agosto 2023.

No obstante, sí ha habido cierto avance. Mediante Resolución Ministerial N° 165-2023-MINEM/DM, publicada el 21 de abril 2023, se creó un Grupo de Trabajo Multisectorial, con vigencia de 180 días calendario, que deberá proponer alternativas regulatorias y promocionales que impulsen y viabilicen el desarrollo de proyectos relacionados al hidrógeno verde en el país³⁸. En los considerandos de dicha resolución se señala que, en línea con la Política Energética Nacional del Perú 2010 – 2040, el MINEM “busca promover la seguridad energética e impulsar el desarrollo de energías limpias que contribuyan a contrarrestar los efectos del cambio climático, siendo el hidrógeno verde una alternativa para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero”.

³⁶ Creada por Decreto Supremo N° 006-2020-MINAM y modificada por Decreto Supremo N° 005-2023-MINAM.

³⁷ La tecnología del hidrógeno verde se vendría aplicando en Cusco, Perú, desde 1965: Industrias Cachimayo ha venido utilizando la energía de la central hidroeléctrica de Machu Picchu para producir a través de electrólisis nitrato de amonio para fertilizantes y promoción agrícola (SNMPE, 2022). A partir de 1982 inició la producción de ANFO (*Ammonium Nitrate Fuel Oil*), un poderoso explosivo con el cual ingresó al mercado minero. Recientemente ha llegado a un acuerdo con ENGIE Energía Perú para la provisión de certificados REC (emitidos por *The International REC Standard*), los cuales certificarán que el 100% del consumo de energía para la operación de la planta de nitrato de amonio de Industrias Cachimayo, proviene de fuentes renovables (ENGIE, 2022).

³⁸ Según la noma, el Grupo de Trabajo Multisectorial tendrá como función: Identificar y/o evaluar los problemas públicos relacionados al hidrógeno verde; presentar alternativas para resolver los problemas públicos relacionados al mismo y evaluar los impactos negativos y positivos de dichas alternativas, así como plantear los objetivos a ser alcanzados; determinar la intervención de medidas regulatorias y sus mecanismos de implementación y cumplimiento; y articular con las entidades públicas y otros actores. Se sabe además que contará con el soporte de la cooperación alemana para el desarrollo (MINEM, 2023).

Por otro lado, a raíz de impulso del sector privado³⁹, entre el 2021 y 2022 se presentaron algunas iniciativas legislativas en el Congreso de la República:

- El Proyecto de Ley 6953/2020-CR, presentado el 18 de enero de 2021 por el Partido Morado, planteaba que el MINEM promoviera la instalación de plantas de hidrógeno verde y que formulase y aprobase un Plan Nacional de Desarrollo del Hidrógeno Verde. Lamentablemente este proyecto se archivó sin mayor debate cuando concluyó el periodo parlamentario 2016-2021⁴⁰.
- El Proyecto de Ley 3267/2022-CR⁴¹, presentado el 11 de octubre de 2022 por el grupo parlamentario Perú Libre, proponía declarar, de necesidad pública e interés nacional la promoción, empleo, investigación, producción, uso y comercialización del hidrógeno verde como energía limpia y combustible; así como fomentar el uso de hidrógeno verde como una alternativa a la energía tradicional.
- El Proyecto de Ley 3272/2022-CR⁴², presentado el 12 de octubre de 2022 por el grupo parlamentario Acción Popular, proponía la Ley de Hidrógeno Verde a fin de promover la industrialización del país con el desarrollo del hidrógeno verde y de este modo, lograr cumplir con la NDC establecida en el Acuerdo de París. Este proyecto de ley también contempla la elaboración de una estrategia nacional y políticas públicas, así como la creación de un Fondo de Promoción del Hidrógeno Verde.
- El Proyecto de Ley 4374/2022-CR, presentado el 3 de marzo de 2023 por el grupo parlamentario Podemos Perú, planteaba crear e implementar el parque de electrolizadores, bajo la administración de la Universidad Nacional de Ingeniería para el desarrollo de nuevas tecnologías que permitan la producción y almacenamiento del hidrógeno, con la finalidad de contribuir en el corto plazo a la transición energética.

³⁹ En el mes de febrero de 2022, H2 Perú - Asociación Peruana de Hidrógeno publicó un proyecto de ley de promoción del hidrógeno verde, proponiendo que se elabore una “Estrategia Nacional y Políticas Públicas para el desarrollo de la cadena de valor del Hidrógeno Verde”. Semanas después presentó las “Bases y Recomendaciones para la elaboración de la estrategia de hidrógeno verde en el Perú”, así como una propuesta de hoja de ruta (H2 Perú, 2022).

⁴⁰ Acuerdo del Consejo Directivo N° 19-2021-2022/CONSEJO-CR, del 18 de agosto de 2021.

⁴¹ El Proyecto de Ley 3267/2022-C proponía que el MINEM apruebe un marco regulatorio para promover el hidrógeno verde y que se cree un Fondo de Promoción del Hidrógeno Verde. Definía al hidrógeno verde como aquel “*producido a partir de la electrólisis del agua a través de fuentes renovables, dando como resultado moléculas de hidrógeno que funcionan como combustible y vector energético y no emiten CO₂.*”

⁴² El Proyecto de Ley 3272/2022-CR establecía que el MINEM, MINAM, PRODUCE y MTC fueran las entidades competentes para la elaboración de la Estrategia Nacional y Políticas Públicas para el desarrollo de la cadena de valor del Hidrógeno Verde, debiendo ésta contener un proyecto de ley que desarrolle incentivos tributarios y financieros para el desarrollo del hidrógeno verde. Definía al hidrógeno verde como “*aquel producido mediante la utilización de agua como materia prima, a través de un proceso de electrólisis, u otros procesos diferentes siempre que en su producción las emisiones de gases de efecto invernadero sean nulas o muy cercanas a cero, conforme lo defina el Reglamento. Cuando se utilice electricidad para la producción de Hidrógeno Verde, esta debe provenir de las fuentes de energía renovable definidas en el artículo 3 del Decreto Legislativo N° 1002, Decreto Legislativo de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables.*”

Nótese que los Proyectos de Ley 3267/2022-CR y 3272/2022-CR2 recibieron la opinión desfavorable de la Presidencia de Consejo de Ministros, por considerar que el diseño de políticas, planes y estrategias, corresponden a competencias exclusivas del Poder Ejecutivo. El Ministerio del Ambiente (MINAM), el Ministerio de la Producción (PRODUCE), el MTC y Organismo Supervisor de Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) los consideraron viables, pero con ciertas observaciones, y solo el Colegio de Ingenieros del Perú emitió opinión favorable, sin observaciones. Respecto al Proyecto de Ley 4374/2022-CR, el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) emitió opinión desfavorable, por considerar que se incumplía el principio constitucional de equilibrio presupuestario y las reglas para la estabilidad presupuestaria. El MINEM no alcanzó opinión alguna, a pesar del interés expresado en el hidrógeno verde en la Resolución Ministerial N° 165-2023-MINEM/DM.

El 7 de junio 2023 los tres proyectos antes mencionados fueron acumulados y obtuvieron un Dictamen aprobatorio, por mayoría, en la Comisión de Energía y Minas del Congreso de la República. De acuerdo con el artículo 1 del nuevo texto del proyecto de “Ley de Fomento del Hidrógeno Verde”, ésta tendrá como objetivo *“fomentar la investigación, el desarrollo, la producción, la transformación, el almacenamiento, el acondicionamiento, el transporte, la distribución, la comercialización, la exportación y el uso del hidrógeno verde como combustible y como vector energético, en sus diferentes aplicaciones, para el aprovechamiento y utilización en la matriz energética nacional a fin de mejorar la calidad de vida de la población como resultado de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), coadyuvando al cumplimiento de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) del país”*.

En línea con ello, propone declarar *“de interés nacional la investigación, el desarrollo, la producción, la transformación, el almacenamiento, el acondicionamiento, el transporte, la distribución, la comercialización, la exportación y el uso del hidrógeno verde como combustible y como vector energético, en sus diferentes aplicaciones (...)”*.

Por otro lado, el proyecto de ley se limita a caracterizar al hidrógeno verde como *“un vector energético producido con tecnologías de baja emisión de gases de efecto invernadero”*. La definición debiera ser mejorada, pues la falta de claridad puede generar incertidumbre en la industria. Como hemos visto hay varias tecnologías que podrían atribuirse tener bajas emisiones de GEI en comparación con el hidrógeno negro o marrón. Si bien podemos intuir que han querido abarcar dentro de su alcance las tecnologías que producen hidrógeno a través de electricidad y no de combustibles fósiles, como el hidrógeno amarillo o rosa, otra posibilidad es que hayan querido referirse a otras tecnologías que coloquialmente son referidas por algunos como “verdes”, por su connotación ecológica. En todo

caso, sería mejor que el legislador fuese más preciso sobre su intención, máxime cuando también propone que el MINEM establezca los requisitos necesarios para la obtención de la certificación de origen.

Por otro lado, el nuevo proyecto enfatiza acertadamente que el MINEM es quien debe formular las políticas y los planes energéticos sectoriales para el desarrollo de la cadena de valor del hidrógeno verde, desde su producción hasta su uso final, los que deben estar alineados con las políticas de PRODUCE, del MTC, del MINAM y del MEF. Según el proyecto, dichas políticas y planes deberán ser formulados de manera participativa y deberán garantizar lo siguiente:

- a) El establecimiento de metas de corto, mediano y largo plazo alineadas con la política energética nacional y el Decreto Supremo N° 003-2022-MINAM.
- b) Las acciones y los plazos que deben llevarse a cabo para el diseño, programación e implementación de los programas de promoción para el desarrollo de tecnologías, el uso y la producción de hidrógeno verde.
- c) La implementación de las recomendaciones del grupo de trabajo multisectorial recientemente creado a razón de la Resolución Ministerial N° 165-2023-MINEM/DM.
- d) La planificación territorial en todo el ámbito nacional para el establecimiento de polos productivos con centros de desarrollo y plantas de producción y transformación de hidrógeno verde.
- e) El otorgamiento de beneficios económicos y tributarios para la investigación, la producción, la transformación, el transporte, la comercialización, la exportación y el uso del hidrógeno verde como combustible y como vector energético en sus diferentes aplicaciones.
- f) La aplicación industrial del hidrógeno verde como combustible de uso vehicular, agrícola, industrial, aéreo, marítimo, para transporte público y de carga, y otras aplicaciones no energéticas que demanden combustibles fósiles.
- g) Incentivar el desarrollo y la producción de hidrógeno verde a nivel industrial a partir de los excedentes de energía eléctrica renovable y para su aplicación como mezcla en la red de gas.
- h) Obtención de financiamiento internacional para el impulso de proyectos de desarrollo y producción de hidrógeno verde.
- i) La dación oportuna del marco normativo complementario para el desarrollo del hidrógeno verde.

El proyecto normativo propone también incentivar la investigación científica y tecnológica a través del Programa Nacional de Investigación Científica y Estudios Avanzados, así como la implementación de programas para promover proyectos y emprendimientos de innovación y de transferencia tecnológica a través del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico e Innovación.

En atención a lo anterior, si bien el Perú (aún) no ha desarrollado un marco normativo que de manera concreta promueva la producción y uso del hidrógeno verde, es evidente el interés común que tienen el Poder Ejecutivo y el Poder Legislativo de fomentar su producción y utilización.

Tal como señalamos en la sección 4), las metas que se establezcan deberán tomar en cuenta las capacidades técnicas y operativas que tenga el país para entrar al mercado del hidrógeno verde con costos competitivos. Para ello, deberán considerarse aspectos como los nichos de demanda, el acceso a electricidad renovable, la disponibilidad de agua dulce, la disponibilidad presupuestaria o de financiamiento y, definitivamente, las señales de mercado. Por otro lado, debe precisarse cómo se acoplarán los proyectos de hidrógeno verde a la normativa existente sobre generación eléctrica, certificación ambiental, transporte, tratamiento y disposición de materiales peligrosos, uso de agua, etc. Además, es importante que el MINEM tome en consideración las lecciones aprendidas y avances que existan a nivel internacional en torno a los sistemas de certificación de origen y de subproductos.

En cualquier instancia, resulta fundamental que las políticas públicas y regulaciones concernientes al hidrógeno verde logren armonizar las necesidades, capacidades y objetivos específicos del país, en relación con la integración ampliada de fuentes energéticas renovables en su matriz energética. Como ya hemos resaltado previamente, la estructuración normativa para el sector del hidrógeno verde en Perú, al igual que en otras jurisdicciones, debe ser meticulosamente concebida con el propósito de fomentar de manera segura, sostenible y eficiente su desarrollo y adopción. Esta tarea debe ser abordada considerando de manera exhaustiva los elementos abordados en las secciones precedentes de este artículo.

6. CONCLUSIONES

- A fin de alcanzar cero emisiones netas en el año 2050, con la esperanza de mitigar un aumento de la temperatura global por encima de 1.5 °C conforme al Acuerdo de París, varios sectores de la economía deben reducir sus emisiones de GEI, incluyendo el sector energético y transporte.
- En este contexto, el hidrógeno verde se presenta como una buena opción para contribuir con la reducción de emisiones, particularmente en sectores como la industria pesada y el transporte de larga distancia, donde las soluciones aún son limitadas. Por otro lado, la reducción de los precios de las energías renovables y de los electrolizadores hacen que la producción de hidrógeno verde sea cada vez más rentable.

- El uso de hidrógeno verde en el Perú podría reducir la dependencia del país de los combustibles fósiles y ayudar a alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de GEI. Es indiscutible que el Perú tiene un gran potencial para desarrollar el mercado del hidrógeno verde, debido a sus condiciones geográficas y climáticas favorables para la producción de energía renovable.
- Sin embargo, es fundamental que también se evalúen los riesgos socioambientales asociados, se acoten las expectativas, se prioricen los usos y la escala de los proyectos, y se genere un modelo de gobernanza que contribuya en un mayor acceso a energía asequible y en una soberanía energética que mejore la calidad de vida de los ciudadanos.
- A pesar de los avances y propuestas, se reconoce que aún queda un largo camino por recorrer en términos de regulación del hidrógeno verde en Perú. La demora en la aprobación de una estrategia nacional y de una normativa específica representa un desafío, pero también una oportunidad para desarrollar un enfoque integral y sólido que refleje las necesidades y objetivos del país.
- A través de la exploración de los aspectos mencionados en este artículo procuramos sentar las bases para futuras discusiones y decisiones relacionadas con la regulación del hidrógeno verde en Perú.

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Peruana de Hidrógeno (2023). La agenda del hidrógeno verde en el Perú.

<https://h2lac.org/noticias/la-agenda-del-hidrogeno-verde-en-el-peru/>

Bartlett, J. (2022). Chile apuesta al Hidrógeno Verde. FMI: Finanzas & Desarrollo.

<https://www.imf.org/es/Publications/fandd/issues/2022/12/country-case-chile-bet-on-green-hydrogen-Bartlett>

Blanco, H. (2021, 22 de Julio). *Hydrogen production in 2050: how much water will 74EJ need?* *Energy Post*. <https://energypost.eu/hydrogen-production-in-2050-how-much-water-will-74ej-need/>

Bluetech Reserach (2023). *Booming Hydrogen Market Heralds The Water Technology Opportunities*.

<https://www.bluetechforum.com/news/booming-hydrogen-market-heralds-water-technology-opportunities/>

BNAMERICAS (2021). Los posibles costos del hidrógeno verde en Perú.

<https://www.bnamericas.com/es/noticias/los-posibles-costos-del-hidrogeno-verde-en-peru>

Chemes, J., Proaño, M. (2021). Hidrógeno verde: ¿Transición energética o mayor dependencia? *Tierra Viva Noticias*.

<https://agenciaterraviva.com.ar/quien-gana-con-el-hidrogeno-verde/>

Chirino, R. (2021, diciembre). ¿Cuánto contamina el Perú y qué se hace al respecto? *Revista Moneda* N° 188. pp. 60-64.

<https://www.bcrp.gob.pe/docs/Publicaciones/Revista-Moneda/moneda-188/moneda-188-12.pdf>

Congreso de la República (2023). Comisión de Energía y Minas. Vigésima Sexta Sesión Ordinaria. Dictamen N° 34.

<https://wb2server.congreso.gob.pe/spley-portal-service/archivo/MTExMTIz/pdf/PL%203267%20Y%20OTROS>

ENAEX. Historia de Enaex Perú. <https://www.enaex.com/pe/es/enaex-peru-history/>

ENGIE (2022, 5 de octubre). ENGIE y el Grupo Enaex viabilizarán la primera producción de hidrógeno verde en el Perú. Nota de Prensa.

<https://engie-energia.pe/notas-de-prensa/engie-y-el-grupo-enaex-viabilizaran-la-primer-produccion-de-hidrogeno-verde-en-el-peru>

Ensinck, G. (2021). “Hidrógeno gris, azul y verde: Cuáles son las diferencias en el llamado “combustible del futuro”. Economía Sustentable.

<https://economiasustentable.com/noticias/hidrogeno-gris-azul-y-verde-cuales-son-las-diferencias-en-el-llamado-combustible-del-futuro>

Eterovic, D. (2023). Avances y desafíos en torno a la regulación del hidrógeno verde en Chile. *Revista De Derecho Aplicado LLM UC*, (10).

<https://doi.org/10.7764/rda.10.49971>

Global Energy Infrastructure (2021). Hydrogen - data telling a story.

Disponible en: <https://globalenergyinfrastructure.com/articles/2021/03-march/hydrogendata-telling-a-story/>

IEA (2019), The Future of Hydrogen: Seizing today’s opportunities.

Hallack, M., Goldenberg, F. y Correa, C. (2021, 14 de Julio). Estándares, garantías de origen y certificación para el desarrollo del mercado de hidrógeno. Blog del Banco Interamericano de Desarrollo.

<https://blogs.iadb.org/energia/es/desarrollo-del-mercado-de-hidrogeno/>

Howarth, RW, Jacobson, MZ (2021). How green is blue hydrogen? *Energy Sci Eng.* 9: 1676-

1687. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ese3.956>

H2LAC (29 de julio de 2022). *Perú tendrá su primer proyecto de hidrógeno verde con energía solar y eólica.* <https://h2lac.org/noticias/peru-tendra-su-primer-proyecto-de-hidrogeno-verde-con-energia-solar-y-eolica/>

H2 Perú (2022). H2 Perú publica su propuesta de hoja de ruta de hidrógeno verde en el Perú. <https://h2.pe/noticias/h2-peru-publica-su-propuesta-de-hoja-de-ruta-de-hidrogeno-verde-en-el-peru/>

IEA (2019). The Future of Hydrogen: Seizing Today’s Opportunities. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

IEA (2021). Global Hydrogen Review 2021.

IRENA (2021), *Green Hydrogen Supply: A guide to policy making.*

https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/May/IRENA_Green_Hydrogen_Supply_2021.pdf

IRENA. (2022). *Geopolitics of the Energy Transformation. The Hydrogen Factor*.

Martínez, M. (2022). Esquemas de certificación para el hidrógeno verde: su rol en la anticipación a conflictos socioambientales. H2LAC.
<https://h2lac.org/noticias/esquemas-de-certificacion-para-el-hidrogeno-verde-su-rol-en-la-anticipacion-a-conflictos-socioambientales/>

Martínez, J (2021, Setiembre 8). El hidrógeno verde explicado: el combustible que podría dejar a Chile en la vanguardia energética. Contracarga.
<https://contracarga.cl/reportajes/hidrogeno-verde/>

MINAM (2021). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Perú: un insumo para la actualización de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático. Resolución Ministerial N° 096-2021-MINAM.

Ministerio de Energía de Chile (3 de noviembre de 2020). Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde: Chile, fuente energética para un planeta cero emisiones (versión preliminar). <https://energia.gob.cl/h2/Estrategia-nacional-de-hidrogeno-verde>

MINEM (2023, Julio). Balance Nacional de Energía 2021.
<https://www.minem.gob.pe/publicacion.php?idSector=12&idPublicacion=664>

Novo, C. (2023, 16 de enero). *The water sector as a key player in the green hydrogen market*. Smartwater Magazine.
<https://smartwatermagazine.com/news/smart-water-magazine/water-sector-a-key-player-green-hydrogen-market>

Roca, R. (2021) “Microalgas, otra forma de producir hidrógeno verde”. El Periódico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/microalgas-otra-forma-de-producir-hidrogeno-verde/>

Rodriguez, M. (2022). Verde, rosa, negro, púrpura...: todos los colores del incoloro hidrógeno: ¿Por qué se habla de hidrógeno verde? ¿Y qué otros colores le ponen al hidrógeno? En: Libre Mercado.
<https://www.libremercado.com/2022-11-05/verde-rosa-negro-purpura-todos-los-colores-del-incoloro-hidrogeno-6950767/>

Sánchez, J. I. (2023, 29 de enero). Requerimientos de agua para producción de hidrógeno verde. <https://digitalextramadura.com/requerimientos-de-agua-para-produccion-de-hidrogeno-vverde/>

Schneider, H. (2021). Hidrógeno verde en América Latina. Posibilidades, barreras y oportunidades. Konrad Adenauer Stiftung.

Serrano, R. & Fernández, M. (2022). Hidrógeno verde: la energía del futuro. Blog. <https://corralrosales.com/hidrogeno-verde-la-energia-del-futuro/>

SNMPE (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/>

STATISTA (2022) Hidrógeno: precio de la producción en 2018, 2030 y 2035, por tipo. <https://es.statista.com/estadisticas/1293229/hidrogeno-precio-de-la-produccion-en-por-tipo/>

UCU (2022, febrero). Observatorio de Energía y Desarrollo Sustentable: Monitor Hidrógeno Verde. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/uy/undp-uy-Monitor-Hidrogeno-Verde-2022.pdf>

Wood Mackenzie (2020). *Green hydrogen costs to fall by up to 64% by 2040*. Disponible en: <https://www.woodmac.com/press-releases/green-hydrogen-costs-to-fall-by-up-to-64-by-2040/>

SOBRE LA AUTORA

Diana Lizárraga Sánchez es abogada por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y Máster en Derecho, Leyes y Políticas Petroleras por la Universidad de Dundee (Reino Unido). Asimismo, cuenta con una especialización en Compliance y Buenas Prácticas Corporativas por la Universidad del Pacífico.

Actualmente, se desempeña como asesora en temas legales vinculados a Recursos Naturales, Derecho Corporativo y Comercial. A lo largo de su experiencia profesional, ha sido Gerente legal y Coordinadora Senior de Contrataciones de PERUPETRO; y Asociada senior en el Estudio Ehecopar. De igual forma, ha dictado cursos relacionados a energía y minería en la PUCP, y el Instituto de Regulación y Finanzas de la Universidad ESAN.

La autora agradece el apoyo brindado por Jimena Soto Rojas en la investigación inicial para la elaboración de este artículo.