

Hidrógeno verde: criterios de éxito para su comercio y producción sustentable

UNA SÍNTESIS BASADA EN CONSULTAS
EN ÁFRICA Y AMÉRICA LATINA





Hidrógeno verde: criterios de éxito para su comercio y producción sustentable

UNA SÍNTESIS BASADA EN CONSULTAS EN ÁFRICA Y AMÉRICA LATINA

Agradecimientos: Este documento es el resultado de un proyecto conjunto sobre hidrógeno verde entre Brot für die Welt y la Heinrich-Böll-Stiftung.

Agradecemos a la autora, Delia Villagrasa, su duro trabajo y su compromiso con el proceso. Además, las organizaciones agradecen especialmente a todos los socios de América Latina y África que participaron en el proceso de consulta y contribuyeron al debate y a la elaboración de este informe.

Por último, un agradecimiento especial a los miembros del equipo Sarah Ribbert (Heinrich-Böll-Stiftung) y Lea Truttenbach (Brot für die Welt) por su apoyo en todo el proceso de coordinación.

Contactos Jaime Fernández Medina: jaime.fernandez@brot-fuer-die-welt.de and Jörg Haas: haas@boell.de.

Consulte el dossier principal con todas las publicaciones y actividades sobre el hidrógeno de la Fundación Heinrich Böll y Brot für die Welt:

<https://www.boell.de/en/green-hydrogen>

<https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>

Brot
für die Welt

Brot für die Welt
www.brot-fuer-die-welt.de/en

Brot für die Welt (Pan para el mundo) es la agencia de desarrollo y ayuda humanitaria de las Iglesias protestantes de Alemania.

En más de 90 países de todo el mundo ayudamos a los pobres y marginados para mejorar sus condiciones de vida. Los temas clave de nuestro trabajo son la promoción de la salud y la educación, el acceso al agua, el fortalecimiento de la democracia, el respeto de los derechos humanos, el mantenimiento de la paz y la integridad de la creación. Brot für die Welt toma medidas para que haya alimentos suficientes para todos. Porque la lucha el hambre es cada vez más importante en tiempos de cambio climático y de escasez de recursos.

HEINRICH
BÖLL
STIFTUNG

Heinrich-Böll-Stiftung
www.boell.de/en

Heinrich-Böll-Stiftung (Fundación Heinrich Böll) es un catalizador para visiones y proyectos ecológicos, un think tank de reforma política y una red internacional que abarca más de 100 proyectos asociados en aproximadamente 60 países. Es cercana al Partido Verde alemán. Los principales objetivos que guían el trabajo Político de la fundación, son el establecimiento de la democracia y los derechos humanos, la lucha contra la degradación medioambiental, salvaguardar los derechos de participación social, apoyar la resolución no violenta de conflictos y defender los derechos de las personas.

Publicado: noviembre de 2022

Imágenes de portada: © AJP, Molibdenis Diseño: contact@onehemisphere.se

Traducción al español: Andrés Padilla, Diagramación versión español: Rosy Botero

Exención de responsabilidad: Los autores han actuado con el debido cuidado para garantizar que el material es exacto a la fecha del presente informe. Los autores no aceptan responsabilidad alguna por pérdida que pueda derivarse de la confianza depositada en su contenido.

CC-BY-NC-ND 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>



Contenido

Prólogo

De Imme Scholz, Directora de la Fundación Heinrich Böll,
y Dagmar Pruin, Presidenta de Bread for the World.

4

Lista de acrónimos

5

Resumen ejecutivo

6

1. Introducción

9

Cuadro 1: Una perspectiva de justicia climática en el desarrollo del hidrógeno verde

12

2. Resumen del proceso

17

Cuadro 2: ¿Por qué necesitamos hidrógeno verde?

19

3. Por qué necesitamos sólidos criterios socioecológicos y políticas para la inversión y el comercio del hidrógeno verde

21

3.1 Principales oportunidades

22

3.2 Principales preocupaciones

22

Cuadro 3: Riesgos de fuga y otros riesgos potenciales relacionados con el hidrógeno verde

23

3.3 La necesidad de políticas y criterios socioecológicos

25

4. Principales recomendaciones

27

4.1 Recomendaciones medioambientales específicas

28

4.2 Recomendaciones sociales específicas

30

Cuadro 4: Adicionalidad

31

4.3 Políticas y normas nacionales

31

4.4 Políticas bilaterales

33

4.5 Plurilateral: ¿podría una iniciativa plurilateral ayudar a avanzar en el comercio de hidrógeno verde y sostenible?

35

4.5 Multilateral: nuevas iniciativas e instituciones para el comercio mundial de hidrógeno verde

35

5. Anexos

37

5.1 Resúmenes de países

38

5.1.1 Argentina

38

5.1.2 Brasil

39

5.1.3 Chile

41

5.1.4 Colombia

43

5.1.5 Marruecos

44

5.1.6 Sudáfrica

46

5.1.7 Túnez

51

5.2 Lecturas adicionales

53

Cuadro 5: Cómo se produce el hidrógeno verde y cuáles son los "colores" del hidrógeno

54



Prólogo

Por Imme Scholz, Directora de la Fundación Heinrich Böll y Dagmar Pruin, Presidenta de Bread for the World

El cambio climático ya está causando daños generalizados en todo el planeta, agravando las crisis socioeconómicas existentes, especialmente en los países del Sur Global. El consumo de energía procedente de los combustibles fósiles es causa de la mayor parte de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. La invasión rusa a Ucrania también demuestra claramente el papel que desempeñan los combustibles fósiles en los conflictos. Por lo tanto, los países y las comunidades de todo el mundo deben abandonar rápidamente los combustibles fósiles para ofrecerle a la humanidad un camino más seguro hacia un futuro sostenible, proteger los medios de vida y los ecosistemas, y mantenerse dentro del límite de 1,5°C del Acuerdo de París.

El hidrógeno verde y sus derivados –producidos a partir de energías renovables– desempeñarán probablemente un papel importante en esta transición. Aunque es mucho más preferible que los combustibles fósiles, sigue necesitando recursos para su producción, entre ellos diferentes materiales naturales, tierra y agua. Por lo tanto, no es el santo remedio, como lo defienden algunas voces. Los principales usos del hidrógeno verde y sus derivados tendrán que dirigirse a aplicaciones específicas en las que la electrificación no resulta posible a largo plazo, entre ellas el transporte aéreo y marítimo de larga distancia, algunas industrias pesadas y como respaldo flexible para los sistemas de energía basados en energías renovables.

La producción de hidrógeno verde requiere la generación de energía renovable a tan gran escala que el Sur Global –con su excelente potencial de energías renovables– es probable que se convierta en un actor principal en esta transición. Además, dado que los costes de producción se basarán principalmente en los costes de producción de las energías renovables, existe un potencial significativo para el comercio internacional de hidrógeno verde o de productos derivados, exportados desde países con un potencial renovable abundante y escalable.

El hidrógeno verde podría proporcionar beneficios y oportunidades para el desarrollo socioeconómico de los países y ayudarles a dar un “salto” hacia una infraestructura de

energía renovable y sus tecnologías asociadas. Sin embargo, también existen riesgos para las comunidades locales y para los posibles países exportadores que se encuentran situados en el Sur Global.

El desarrollo de infraestructuras para un mercado de hidrógeno verde constituye una prioridad, especialmente para los gobiernos de muchos países ricos, pero el mercado emergente de hidrógeno verde debe configurarse teniendo en cuenta los intereses y derechos de todas las partes implicadas, en una situación marcada por fuertes desequilibrios de poder. Nosotros, la Fundación Heinrich Böll y Brot für die Welt [Bread for the World], creemos que es necesaria una intervención política adecuada para dirigir la expansión de la inversión y el comercio internacional de hidrógeno verde y sus derivados en una dirección sostenible. Esta sostenibilidad beneficiaría, en última instancia, al desarrollo a largo plazo del sector y, por lo tanto, estaría dentro de los intereses de formuladores de políticas, de los inversores y de las comunidades afectadas, estableciendo normas que todos los actores estén dispuestos a respetar.

Hemos dedicado un periodo significativo de tiempo a involucrarnos con las organizaciones de la sociedad civil y otras partes clave interesadas –en los países potencialmente exportadores del Sur Global– en un proceso de consultas “de abajo a arriba”. Estos diálogos se centraron en el papel clave que el comercio de hidrógeno verde podría desempeñar en sus economías y, en particular, en la identificación y formulación de un conjunto de propuestas de normas, instrumentos jurídicos y procesos políticos que garanticen inversiones sostenibles y un comercio justo del hidrógeno verde.

Tenemos que aprovechar la oportunidad y dar forma al emergente comercio de hidrógeno verde ahora mismo, en sus inicios. Este documento ofrece una orientación a los responsables de la toma de decisiones y a los inversores para garantizar un comercio sostenible de hidrógeno que contribuya a una transición energética justa y equitativa y a la seguridad energética, al tiempo que ayude a mitigar el cambio climático.

Acrónimos y abreviaturas



CO₂	Dióxido de carbono
ESG	Criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG por sus siglas en inglés)
UE	Unión Europea
CLPI	Consentimiento libre, previo e informado
PIB	Producto interno bruto
GEI	Gas de efecto invernadero
GW	Gigavatio
AIE	Agencia Internacional de la Energía
OIT	Organización Internacional del Trabajo
IRENA	Agencia Internacional de Energías Renovables
kWh	Kilovatio hora
m³	Metro cúbico
Mt	Millones de toneladas
PtX	Power-to-X
I+D	Investigación y desarrollo



Resumen ejecutivo

El hidrógeno verde –el hidrógeno producido por electrólisis alimentada por electricidad renovable– desempeñará probablemente un papel importante en la transición energética mundial hacia un futuro sin fósiles y que sea compatible con el clima y con el medio ambiente. Como su coste de producción vendrá determinado, principalmente, por la disponibilidad de energía renovable abundante y económica, es probable que los países con este potencial se conviertan en exportadores de hidrógeno o de sus derivados (como el metanol verde, el amoníaco verde o los productos Power-to-X). Muchos de estos países se encuentran en el Sur Global, lo que lleva a algunos defensores del hidrógeno verde a aclamar los enormes beneficios previstos del comercio de hidrógeno verde a nivel mundial.

Las experiencias históricas del comercio y la inversión Norte-Sur no siempre han sido positivas, por decirlo suavemente. Los desequilibrios de poder han dado lugar a una sangrienta historia de explotación e injusticia medioambiental, desde los primeros días del genocidio de la Compañía Holandesa de las Indias Orientales en las islas de Banda hasta la actual extracción de cobalto en la República Democrática del Congo. Esto ha llevado a algunas voces a denunciar el naciente comercio mundial de hidrógeno verde, desde sus inicios, como una empresa neocolonial y extractiva. Nos atrevemos a discrepar. Conscientes de los riesgos inherentes a las relaciones comerciales entre socios desiguales, seguimos creyendo fundamentalmente que el futuro es algo que hay que forjar, especialmente cuando las lecciones aprendidas del pasado se aplican al presente. Las oportunidades potenciales para el desarrollo económico y el bienestar, tanto en los países consumidores como en los productores, son demasiado grandes para dejarlas de lado, sobre todo teniendo en cuenta la urgente necesidad mundial de descarbonización. Lo que podría convertirse en un negocio multimillonario está todavía en sus inicios. Por lo tanto, nuestras preguntas de partida son: ¿cómo puede la nueva relación de inversión y comercio emergente evitar los errores del pasado? ¿Cómo se puede configurar desde el principio para que sea justa, equitativa y sostenible?

Con estas preguntas en mente, la Fundación Heinrich Böll y Brot für die Welt organizaron una serie de talleres con las partes interesadas –nacionales y mundiales– y encargaron un documento de opciones políticas. Este proceso ha dado lugar a criterios y medidas que permitirían que la producción y el comercio de hidrógeno verde comenzaran sobre una mejor base, garantizando los beneficios para la población local, las comunidades y las naciones exportadoras, así como para los países

importadores, manteniendo al mismo tiempo la integridad medioambiental, la justicia social y los derechos humanos. En resumen, surgieron los siguientes criterios y políticas:

- **Como principio central, las políticas de hidrógeno verde** deben configurarse de manera que los países productores no se limiten a ser exportadores de hidrógeno en bruto, sino que se beneficien de la creación de valor a lo largo de toda la cadena de valor de la producción y el comercio. Por lo tanto, los países exportadores deben considerar cómo aprovechar la demanda externa y los correspondientes ingresos e inversiones para “impulsar” la producción de energía renovable y de hidrógeno para fines nacionales. Los países consumidores, por su parte, deben considerar qué acuerdos comerciales y de inversión apoyarían este principio. Esto no sólo es un imperativo de justicia social, sino que es preferible desde el punto de vista logístico, dado que los derivados del hidrógeno verde son más fáciles de transportar que los productos de hidrógeno verde en bruto. **Las hojas de ruta del hidrógeno verde como parte de las estrategias energéticas nacionales** –integradas en los planes nacionales de desarrollo sostenible y en las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN)– pueden proporcionar una visión a largo plazo del hidrógeno tanto para uso doméstico como para la exportación. Estos planes deben ser coordinados por los respectivos gobiernos con las distintas partes interesadas, incluidas las comunidades locales. Los planes deben garantizar que los países exportadores no sean sólo proveedores de materias primas, sino que también puedan beneficiarse a nivel nacional utilizando su producción y comercio de hidrógeno verde para lograr el progreso económico, el acceso a la energía, el sustento y la industrialización.

La producción de hidrógeno verde debe basarse en **sólidas normas y criterios sociales y de sostenibilidad**, incluido el respeto de los derechos humanos y el principio de “no hacer daño” al medio ambiente y a las comunidades locales.

Para garantizar los **beneficios medioambientales** hay que evitar las fugas de hidrógeno, minimizar el uso del agua y llevar a cabo una desalinización limpia; es fundamental una cuidadosa planificación espacial de las instalaciones, con sólidas evaluaciones estratégicas y de impacto específico

(socioeconómico y medioambiental) y la coordinación con las comunidades locales. En particular, deben evitarse zonas conflictivas en temáticas de biodiversidad como lugares de emplazamiento de las instalaciones de hidrógeno verde, y debe minimizarse el uso de los recursos y fomentarse el reciclaje, en particular de los materiales raros.

Para **garantizar la justicia social** es necesario ofrecer formación a las comunidades locales para que también puedan obtener los nuevos puestos de trabajo creados. Estos puestos de trabajo deben ser justamente remunerados y deben ser seguros, sin que se produzcan expropiaciones o deslocalizaciones/desplazamientos de las comunidades locales. Es necesario respetar el principio del **consentimiento libre, previo e informado** (CLPI), tal y como lo establece el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), no sólo para las comunidades marginales y minoritarias sino también para todas las poblaciones afectadas. Las personas afectadas deben ser consultadas y compensadas de forma justa, desde la planificación hasta el seguimiento una vez que la instalación esté en funcionamiento.

- **Unas políticas de incentivos bien diseñadas pueden generar el aumento inicial necesario para que el hidrógeno verde** resulte económicamente más atractivo. Para **garantizar que sólo se produzca y comercialice hidrógeno verde** es necesario implementar políticas adecuadas, en particular aquellas destinadas a reducir la diferencia de precios con el hidrógeno fósil. Con los elevados precios actuales de los combustibles fósiles, esa diferencia de precios inicial se ha reducido considerablemente, lo que ha facilitado avanzar directamente hacia el hidrógeno verde. La eliminación de las subvenciones a los fósiles, la fijación de precios del carbono, los pagos específicos, así como el fomento del hidrógeno verde y sus productos derivados –como el acero verde– a través de la contratación pública, son elementos que pueden contribuir a este objetivo. Otras medidas posibles son las cuotas y obligaciones, los requisitos de armonización para el uso de hidrógeno verde para garantizar una demanda fija. Alinear las políticas y estrategias nacionales con hojas de ruta bien fundamentadas, y una regulación sólida que ofrezca seguridad a las empresas y a los inversores, puede generar la ampliación inicial necesaria para que

el hidrógeno sea económicamente atractivo. La cooperación internacional y la mejora de normativas pueden garantizar un mercado más amplio para el hidrógeno verde.

- Hay **cuestiones de gobernanza** que deben abordarse: lo que da al hidrógeno verde su valor comercial son sus propiedades verdes, que deben ser controladas y verificadas de forma transparente y fiable, de acuerdo con criterios acordados internacionalmente que necesitan regulación y supervisión. **Para garantizar que el comercio de hidrógeno verde se desarrolle sin problemas** es necesario un sistema de certificación, seguimiento y contabilidad, así como una definición armonizada de hidrógeno verde para que “verde” signifique realmente 100% renovable, además de la necesidad de normativas para el hidrógeno sostenible. Es necesario acordar las disposiciones para el comercio real (productos básicos, plataformas, condiciones, productos financieros, procedimientos de comercio), así como las garantías para los inversores en cuanto a las condiciones en las que pueden comercializar el hidrógeno producido como hidrógeno verde en los proyectos de inversión proyectados.

Las políticas de producción y comercio de hidrógeno verde y sostenible pueden desarrollarse a nivel nacional, bilateral, multilateral e internacional.

Cada una de estas opciones tiene ventajas e inconvenientes, con opciones que van desde los contratos bilaterales hasta un tratado internacional sobre el hidrógeno verde. Para poner en marcha el mercado con relativa rapidez y bajo normas y criterios ambiciosos, ¿podría ser la mejor opción un “club del hidrógeno verde”, que englobe a un conjunto de países con motivaciones medioambientales y sociales que se pongan de acuerdo en criterios, políticas y mecanismos de comercio?

El proyecto no investigó el hidrógeno de origen fósil o nuclear. **Rechazamos el uso de hidrógeno no renovable debido a la continuación de la extracción fósil dañina, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas¹, y las prácticas nucleares peligrosas.²** Obviamente, en el caso de que los

1. Dada la fuga de metano en su exploración y producción, el hidrógeno “azul” y “turquesa” –fabricado a partir de gas fósil– no es compatible con un futuro de 1,5 °C y, por lo tanto, debería ser excluido por las políticas que fomentan la producción y el uso de hidrógeno. En el marco de los retos actuales derivados de la dependencia de las importaciones de gas fósil, estas tecnologías tienen cada vez menos sentido.

2. Igualmente, el hidrógeno procedente de la bioenergía no reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y tiene un impacto muy elevado en el uso del suelo, por lo que la bioenergía no es una fuente adecuada de hidrógeno. <https://www.biofuelwatch.org.uk/2022/hydrogen-biomass-briefing/>



gobiernos y las empresas persistan con el hidrógeno no renovable, se aplican todos los criterios mencionados en este informe, mientras que habría que establecer un amplio conjunto de criterios para reducir los problemas adicionales creados por las tecnologías fósiles y nucleares. El proyecto tampoco ha evaluado el comercio de hidrógeno verde en el marco más amplio del mercado de materias primas; los beneficios, las injusticias y los inconvenientes del mercado de materias primas entre el Norte y el Sur se han debatido ampliamente en otro lugar. Basta con decir que pedimos que todas las políticas comerciales relacionadas con el clima, incluidas las relativas al hidrógeno verde y sus derivados, se enmarquen en la transición justa teniendo en cuenta a las personas y al planeta³.

El mercado internacional del hidrógeno verde está todavía en sus inicios. Los formuladores de políticas deben aprovechar la oportunidad para crear un modelo sobre cómo debe funcionar un comercio basado en los derechos humanos, que sea equitativo, justo y respetuoso con el medio ambiente. Las propuestas de este documento deberían utilizarse como un modelo para hacer del comercio de hidrógeno verde una realidad positiva tanto para las personas como para el planeta.

3. La alianza del Mandato de Comercio Alternativo (s.f.), *Trade: Time for a New Vision*, <https://www.tni.org/files/download/trade-time-for-a-new-vision.pdf>.



Introducción

El cambio climático ya está causando daños generalizados en todo el planeta, agravando las crisis socioeconómicas existentes, especialmente en los países del Sur Global. Los combustibles fósiles representan más de las tres cuartas partes de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI).⁴ A la luz del aumento de las sequías, las inundaciones, los incendios y los fenómenos meteorológicos extremos, los países y las comunidades de todo el mundo deben abandonar rápidamente los combustibles fósiles para hacer frente a los impactos climáticos y proteger los medios de vida y los ecosistemas, y para mantenerse por debajo del límite de calentamiento global de 1,5 °C adoptado a nivel mundial en el Acuerdo de París.

En el contexto de una transición energética justa⁵, el hidrógeno verde y sus derivados, producidos a partir de energías renovables, podrían desempeñar un papel importante tanto para las naciones industrializadas como para las que se

están industrializando. Podría sustituir a los combustibles fósiles gracias a su fácil almacenamiento a largo plazo así como cubrir las carencias temporales de suministro de energía renovable en una economía cada vez más electrificada. El hidrógeno verde tiene un amplio campo de aplicaciones, concretamente para las industrias difíciles de descarbonizar y de electrificar, como las del acero, el cemento, el vidrio y la cerámica, los productos químicos y los fertilizantes, y el transporte marítimo y aéreo de larga distancia.⁶ De acuerdo con la senda hacia 1,5°C de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), descrita en las Perspectivas de la Transición Energética Mundial⁷, el hidrógeno verde y sus derivados representarán el 12% del uso final de la energía en 2050.

Sin embargo, en la actualidad, el 98% del hidrógeno que se produce en el mundo procede de combustibles fósiles, y menos del 1% de energías

4. Naciones Unidas (s.f.), *Causas y efectos del cambio climático*. <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>.

5. Para conocer las perspectivas de la transición justa, visite la Fundación Heinrich Böll Bruselas (2022), *Just Transition, serie de publicaciones*, <https://eu.boell.org/en/tags/just-transition> y Chandra Bhushan (2021), *Achieving Net-zero through Just Transition*, <https://in.boell.org/en/2021/12/20/achieving-net-zero-through-just-transition>.

6. Para más información sobre los posibles usos del hidrógeno verde, véase Fundación Heinrich Böll y Brot für die Welt (2022), *Green Hydrogen - Hype or Beacon of Hope?* https://www.boell.de/sites/default/files/2022-08/green_hydrogen_-_hype_or_beacon_of_hope.pdf. <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>

7. IRENA (2021), *World Energy Transition Outlook, 1.5°C Pathway*, <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook>.



Introducción, continuación

renovables.⁸ Dado que los costes de producción del hidrógeno verde dependerán en gran medida del potencial renovable (incluido el coste), es probable que surja un importante comercio internacional de hidrógeno o de productos derivados, como el amoníaco. El hidrógeno verde se exportará desde países con un potencial renovable abundante y escalable, por ejemplo, eólico, solar y geotérmico. Las proyecciones sugieren que alrededor de una cuarta parte del hidrógeno producido a nivel mundial se comercializará a través de las fronteras en 2050.⁹

La consecución de los objetivos climáticos acordados requerirá un rápido aumento de la producción de hidrógeno verde. La Agencia Internacional de la Energía (AIE) afirma que la producción mundial anual de hidrógeno de origen renovable tendrá que aumentar hasta al menos 500 millones de toneladas (Mt) para ser coherente con los escenarios de neutralidad climática.¹⁰ Aunque es probable que la mayor parte del hidrógeno se utilice a nivel local o nacional,¹¹ el comercio internacional de hidrógeno verde y sus derivados seguirá desempeñando un papel muy importante.

Además, en la nueva realidad política de Europa y otras zonas geográficas que se están desprendiendo de los combustibles fósiles rusos, está aumentando la presión por las importaciones alternativas. El plan "RepowerEU", publicado el 18 de mayo de 2022, ha duplicado las ambiciones de la UE en cuanto a las importaciones de hidrógeno verde para 2030, hasta alcanzar las 10 Mt anuales previstas.

8. IRENA (2022), *Green Hydrogen Certification*, https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_Green_Hydrogen_Certification_Brief_2022.pdf.

9. IRENA (2022), *Global Hydrogen Trade Outlook* <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Global-Hydrogen-Trade-Outlook>.

10. La AIE incluye al hidrógeno azul en sus escenarios, nosotros no lo consideramos como una opción sostenible. La producción actual de hidrógeno es de unas 70 Mt, de las cuales menos del 1% se basa en energías renovables, véase AIE (s.f.), *El futuro del hidrógeno*, <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>.

11. IRENA asume que el 75% de la demanda de hidrógeno en 2050 se producirá y utilizará a nivel local/regional, véase IRENA (2022), *A Quarter of Global Hydrogen Set for Trading by 2050* Tweet, <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2022/Jul/A-Quarter-of-Global-Hydrogen-Set-for-Trading-by-2050>. Sin embargo, una investigación reciente de McKinsey estima una cantidad mucho mayor de hidrógeno comercializado (todo el hidrógeno, no el verde) para 2050, lo que haría aún más urgentes las propuestas de este documento, véase McKinsey & Company Hydrogen Council (2022), *Global Hydrogen Flows: Hydrogen Trade As a Key Enabler for Efficient Decarbonization*, <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2022/10/Global-Hydrogen-Flows.pdf>.

El hidrógeno verde podría proporcionar beneficios y oportunidades a los países para un desarrollo socioeconómico justo, sostenible y basado en los derechos, y ayudarles a dar un "salto"¹² hacia las infraestructuras de energías renovables y las tecnologías asociadas. Pero también podría dar continuidad a trayectorias bien trazadas en las que los recursos del Sur Global se extraen para crear riqueza en el Norte Global, con poca consideración por los derechos humanos o por el imperativo de avanzar en la equidad, tanto dentro de los países como entre ellos. Así pues, ¿qué riesgos entrañará el comercio de hidrógeno verde para los países exportadores del Sur Global? ¿Qué marcos políticos y normativos –internacionales y nacionales– son necesarios para garantizar que las inversiones y el comercio de hidrógeno verde se desarrollen desde el principio en un marco de desarrollo sostenible con justicia, equidad y respeto por los derechos humanos?

Para las economías en desarrollo, es imperativo aumentar el suministro de energía limpia para alcanzar el séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas sobre el acceso universal a la energía limpia, así como para lograr los demás Objetivos de Desarrollo Sostenible. Estos objetivos significan –tanto para las zonas desarrolladas como para las que están en vías de desarrollo– que es necesaria una expansión drástica de las energías renovables, acompañada de la reducción del consumo innecesario de energía y de grandes mejoras en la eficiencia energética. Sólo así será posible un futuro energético 100% limpio y renovable, y se podrán satisfacer las necesidades de energía limpia de las personas, las economías y sus entornos.

En los países con un importante potencial de recursos energéticos renovables, la opción de producir hidrógeno verde está ganando adeptos rápidamente, incluso con fines de exportación. En noviembre de 2021, se habían planificado o puesto en marcha 522 proyectos de hidrógeno limpio a gran escala en todo el mundo¹³, y este número está creciendo

12. Por ejemplo, las rápidas transformaciones en curso y la aceleración de la digitalización. Los países del Sur Global fueron capaces de "saltar" a las nuevas tecnologías. Un ejemplo es la introducción del uso de los teléfonos inteligentes y la inversión pública y privada en infraestructuras, la introducción de un entorno normativo y comercial para estos nuevos mercados, y los modelos empresariales. La cuestión es si el salto en el sector energético es posible y si irá acompañado de la misma cantidad de inversión público-privada en servicios públicos, regulaciones y finanzas.

13. IRENA, 2022, *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*, <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>.

debido a las preocupaciones geopolíticas. Los precios de la producción de energía renovable y de los electrolizadores están bajando –incluso Shell admite que el verde se está volviendo más barato que el llamado hidrógeno azul fabricado con gas fósil.¹⁴

Dado que el mercado está emergiendo, su forma y estructura aún no están claras: actualmente se estructura, principalmente, en torno a acuerdos bilaterales entre futuros proveedores e importadores. Sin embargo, está claro que cualquier mercado internacional de hidrógeno verde será un híbrido, con elementos de un mercado de materias primas (similar a los mercados existentes de hidrocarburos), pero también fuertemente influenciado por las opciones de diseño político (en particular con respecto a la naturaleza verde del hidrógeno). Es esencial que cualquier acuerdo comercial –bipartito, pluripartito o multilateral– garantice que el comercio sea justo, equitativo y sostenible, y que beneficie tanto a los países exportadores como a los importadores. Sin un marco político adecuado, la expansión de la inversión y el comercio internacional de hidrógeno verde y sus derivados podría producirse de forma insostenible y explotadora. Podrían perderse las oportunidades de desarrollo de las industrias nacionales y los puestos de trabajo asociados. La competencia internacional despiadada por la producción a menor coste podría llevar a prácticas perjudiciales similares a las observadas en el contexto de la extracción de combustibles fósiles.¹⁵ Esto no sólo podría acabar perjudicando a los valiosos entornos naturales y a las comunidades locales; los riesgos medioambientales, sociales y de gobernanza (ESG) podrían, en última instancia, socavar el desarrollo justo del sector a largo plazo.

Estos riesgos son más probables para las naciones exportadoras con sede en el Sur Global, debido a la frecuente debilidad de la gobernanza y a las desiguales relaciones de poder. Según un análisis reciente, el Sur Global está experimentando una gran apropiación neta de recursos por parte del Norte Global, a través del comercio y los flujos financieros ilícitos,

14. The Energy Mix (2022), *Green Hydrogen Will Cost Less than Fossil-Fuelled "Blue"*, Shell CEO Admits, <https://www.theenergymix.com/2022/08/07/green-hydrogen-will-cost-less-than-fossil-fuelled-blue-shell-ceo-admits/>.

15. D. Porter and C. Anderson (2021), *Illicit Financial Flows in Oil and Gas Commodity Trade: Experience, Lessons and Proposals*, <https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/illicit-financial-flows-oil-gas-commodity-trade-experience.pdf>.

por valor de más de 10 billones de dólares al año.¹⁶ La mayoría de los países del Sur Global dependen actualmente de los combustibles fósiles para su energía. Por lo tanto, es importante garantizar que el marco para el desarrollo de un comercio de hidrógeno verde esté integrado en una estrategia de transición energética más amplia, justa y sostenible, que permita que los beneficios de las (nuevas) estructuras de energía renovable y de la producción de hidrógeno verde estén al servicio de las poblaciones e industrias locales, creando nuevas tecnologías, habilidades, empleos y acceso a la energía limpia, sin dañar el medio ambiente. El desarrollo general del hidrógeno verde, y las políticas comerciales relacionadas, deben respetar los principios de una transición justa hacia un futuro energético limpio. Por lo tanto, a los inversores, a los países anfitriones y a las comunidades afectadas les debería interesar dar forma a un comercio de hidrógeno verde, justo y "sostenible", que se defina mediante normas que, idealmente, todos los actores respeten, permitiendo que las inversiones en los países del Sur Global les ayuden a dar un salto hacia infraestructuras y alternativas energéticas renovables y sostenibles.¹⁷

Aunque el comercio de hidrógeno está todavía en sus inicios, es necesario establecer y poner en marcha las normas, políticas y certificaciones adecuadas para la producción y el comercio de hidrógeno verde que beneficien a todos. Es fundamental hacerlo bien desde el principio y garantizar que se promueva el hidrógeno verde, no el hidrógeno de origen fósil o nuclear.

16. Jason Hickel et al. (2022), *Imperialist Appropriation in the World Economy: Drain from the Global South through Unequal Exchange 1990–2015*, *Global Environmental Change*, 73, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937802200005X>.

17. En la UE se están llevando a cabo algunos intentos de abordar el consumo excesivo de energía que podrían intensificarse aún más mediante la mejora de la eficiencia energética y la aceleración de la economía circular. Véase, por ejemplo, Parlamento Europeo (2022), *Why Is the EU's Right to Repair Legislation Important?*, <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20220331ST026410/why-is-the-eu-s-right-to-repair-legislation-important#:~:text=El%20European%20Parliament%20has%20been,%2C%20cost%20efficient%20and%20attractive>.



Cuadro 1

Una perspectiva de justicia climática en el desarrollo del hidrógeno verde

La crisis climática mundial, exacerbada por los impactos de la pandemia del COVID-19, está teniendo un efecto devastador en los hogares, las comunidades y los ecosistemas de todo el mundo. Sólo en 2022 se produjeron olas de calor sin precedentes en Europa, inundaciones monzónicas en Pakistán,¹⁸ una sequía de 40 años en el Cuerno de África,¹⁹ mientras que fenómenos meteorológicos extremos expusieron a millones de personas a la inseguridad alimentaria y de otro tipo en Sudamérica. A medida que las comunidades se enfrentan cada vez más a la necesidad de prepararse y responder a las emergencias climáticas, son las mujeres y las niñas las que se llevan la peor parte de forma desproporcionada. Para evitar la creciente pérdida de vidas, biodiversidad e infraestructuras, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático ha pedido “una acción ambiciosa y acelerada [...] que implique a todos en la planificación, que preste atención a la equidad y la justicia y que aproveche los conocimientos indígenas y locales”.²⁰

Para ello resulta esencial una perspectiva de justicia climática. Quienes han sido históricamente marginados –o son ya vulnerables– son quienes sufren primero y con mayor intensidad, aunque sean las personas menos responsables de la crisis climática. En pocas palabras, la justicia climática requiere prevenir el daño, compensar los daños ya causados tanto como sea posible –especialmente en el Sur Global– y esto requiere mitigación, adaptación y compensación por pérdidas y daños. Reconocer esto es un primer paso en los debates sobre una

transición energética global justa y equitativa y el papel del hidrógeno verde en ella. Para ser consideradas justas desde el punto de vista climático, las políticas y los programas de hidrógeno verde deben incluir los siguientes principios y recomendaciones:

1. Garantizar la voz de las poblaciones y comunidades vulnerables al clima y de las víctimas de la continua extracción de combustibles fósiles.

El rápido desarrollo de una economía de hidrógeno verde es un elemento decisivo para la eliminación mundial de los combustibles fósiles y, por tanto, redundante en el interés inmediato de las poblaciones más vulnerables. La justicia climática exige minimizar los posibles impactos negativos de la transición sobre las comunidades más vulnerables, al tiempo que se maximizan sus oportunidades. Es menester consultar a las comunidades locales en las zonas de los proyectos de hidrógeno verde, prestando especial atención a la inclusión de las mujeres y respetando el principio del consentimiento libre, previo e informado (CLPI) antes de poner en marcha cualquier proyecto o política que pueda afectarles. El compromiso de los gobiernos de llevar a cabo estas consultas y de actuar únicamente si se da el consentimiento (como se establece en el Convenio 169 de la OIT) es una condición previa para el éxito del proceso de transición energética verde y justa. El CLPI también permitirá a las comunidades negociar con los eventuales promotores de proyectos de hidrógeno verde, incluso en lo que respecta a los beneficios para las comunidades locales (puestos de trabajo, electricidad, agua de desalinización, etc.). También puede conducir a un rediseño de los proyectos, por ejemplo, hacia sistemas agrofotovoltaicos. Los acuerdos sobre el hidrógeno verde deben, por tanto, incluir instrumentos para evaluar el impacto social y medioambiental de los proyectos e instrumentos, garantizando que estos impactos sean positivos. Estos acuerdos también pueden **evitar el racismo ambiental** comprometiéndose a incluir cláusulas que impidan el desarrollo de políticas y proyectos que promuevan el racismo ambiental, es decir, que garanticen que ningún grupo de personas en particular, ya sean grupos étnicos,

18. Kevin Trenberth (2022), 2022's Supercharged Summer of Climate Extremes: How Global Warming and La Niña Fueled Disasters on Top of Disasters, *The Conversation*, September 15, <https://theconversation.com/2022s-supercharged-summer-of-climate-extremes-how-global-warming-and-la-nina-fueled-disasters-on-top-of-disasters-190546#:~:text=The%20Northern%20Hemisphere's%20extreme%20summer,an%20estimated%2033%20million%20people>.

19. Lizzy Davies (2022), Horn of Africa Drought Puts 3.6m Children at Risk of Dropping Out of School, *The Guardian*, September 22, <https://www.theguardian.com/global-development/2022/sep/22/horn-of-africa-drought-puts-36m-children-at-risk-of-dropping-out-of-school>

20. IPCC (2022), *Climate Change: A Threat to Human Well-being and Health of the Planet. Taking Action Now Can Secure Our Future*, <https://www.ipcc.ch/2022/02/28/pr-wgii-ar6/>.

raciales o de clase, soporten una parte desproporcionada de las consecuencias ambientales negativas de las operaciones y políticas económicas.

2. Abordar la desigualdad entre el Norte y el Sur Global.

Muchos países pobres del Sur Global emiten bajas emisiones de GEI per cápita.²¹ Sin embargo, ven sus oportunidades de desarrollo amenazadas por los impactos climáticos, la necesidad de costosas medidas de adaptación y el aumento de las inversiones iniciales para mitigar el cambio climático. Al mismo tiempo se estima que, en 2018, 789 millones de personas carecían de acceso a una infraestructura eléctrica moderna.²² La justicia climática requiere que estos países reciban apoyo para transformar y desarrollar sus sistemas energéticos, y al mismo tiempo abordar la desigualdad

energética y la pobreza. El hidrógeno verde podría suponer la apertura de nuevas formas de ingresos por exportación que sustituyan a las exportaciones de combustibles fósiles, por ejemplo a través de las exportaciones de hidrógeno verde y sus derivados, así como contribuir a abordar la pobreza energética. Los países merecen tener acceso a los conocimientos técnicos, a la creación de capacidades y a las tecnologías pertinentes, así como a las oportunidades de creación de valor más allá de las materias primas que crearán un nuevo sistema energético internacional basado en las energías renovables y el comercio del hidrógeno. Los riesgos inherentes a la inversión en nuevas tecnologías deben mitigarse mediante asociaciones a largo plazo con los países importadores.

21. Mimi Alemayehou et al. (2022), *Reframing Climate Justice for Development*, Energy for Growth Hub, https://www.energyforgrowth.org/wp-content/uploads/2021/09/FINAL_Reframing-Climate-Justice-for-Development.pdf.

22. *Ibid.*



Introducción, continuación

La Fundación Heinrich Böll y Brot für die Welt decidieron en otoño de 2021 poner en marcha un proyecto para desarrollar estos criterios y políticas desde la “base” misma. El proyecto contó con la participación de la sociedad civil y otras partes interesadas en países potencialmente exportadores del Sur Global: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Marruecos, Sudáfrica y Túnez. En un proceso de diálogos descentralizados con múltiples partes interesadas, entrevistas e investigación, se exploraron las normas, los instrumentos legales y los procesos políticos que conducen a las inversiones sostenibles y al comercio justo de hidrógeno verde. Además de las consultas nacionales, se llevaron a cabo dos talleres de consulta internacionales. El proyecto produjo una amplia gama de publicaciones que también contribuyeron a esta síntesis, por ejemplo un documento sobre las opciones políticas para un comercio de hidrógeno verde²³, un estudio²⁴ sobre el pastoreo y el desarrollo de grandes instalaciones de energía renovable, un documento de referencia sobre el hidrógeno²⁵ y materiales de educación popular²⁶.

Este documento constituye el resumen de las consultas nacionales, el proceso de elaboración de políticas y las aportaciones recibidas de diversas partes interesadas. Su objetivo es informar a los responsables de la toma de decisiones y a los inversores sobre cómo garantizar que cualquier comercio de hidrógeno contribuya a una transición energética justa y equitativa, a la seguridad energética, así como a la prevención del cambio climático. Las propuestas también garantizarían el respeto por las limitaciones medioambientales y un mayor apoyo a las comunidades locales. Si se aplican, las recomendaciones de este documento pueden promover un futuro mejor para las personas y el medio ambiente.

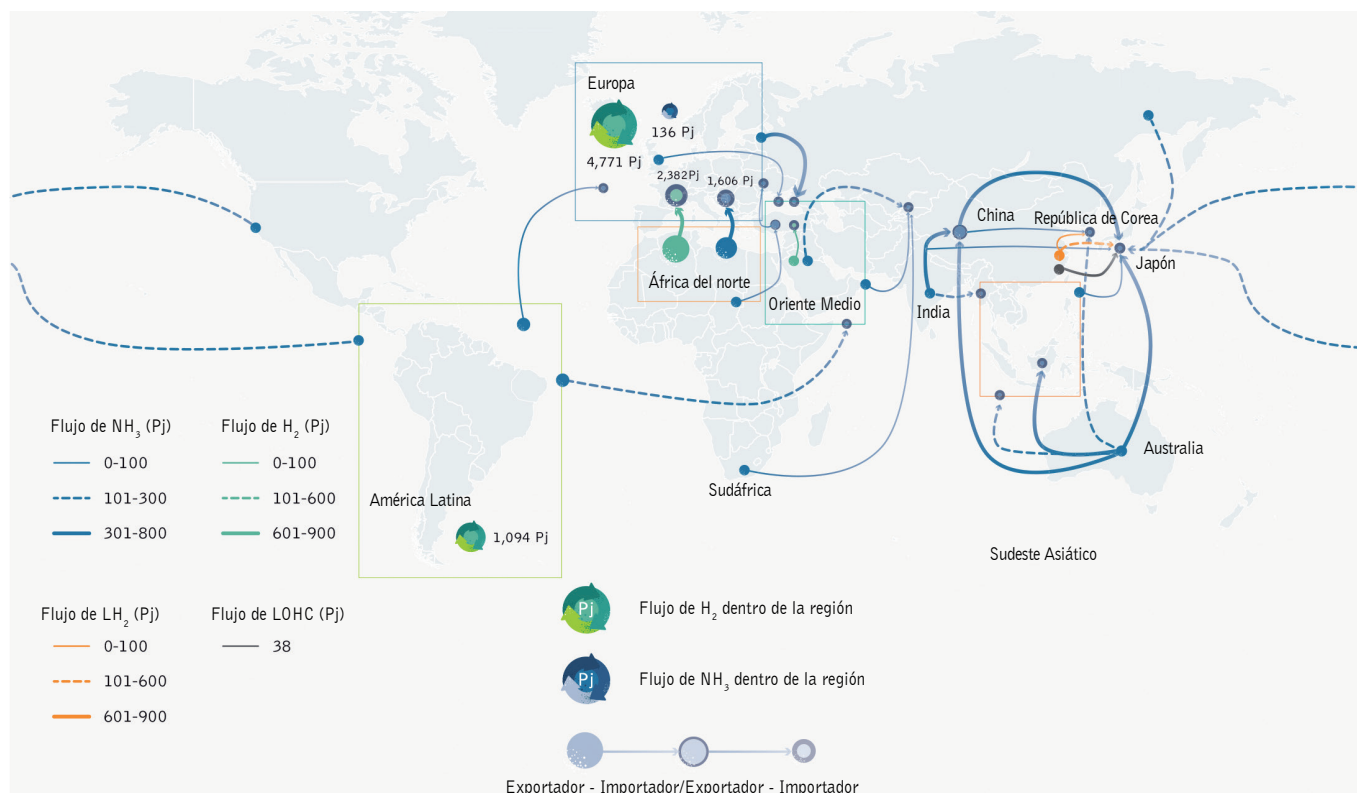
23. Benjamin Görlach, Michael Jakob, and Ramiro de la Vega (2022), *Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options*, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.

24. Ann Waters-Bayer and Hussein Tadicha Wario (2022), *Pastoralism and Large-scale Renewable Energy and Green Hydrogen Projects*, <https://www.boell.de/en/2022/05/18/pastoralism-and-large-scale-renewable-energy-and-green-hydrogen-projects>.

25. Heinrich Böll Foundation (2022), *Green Hydrogen – Sustainable Investment and Fair Trade*, publication series, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen>.

26. Heinrich Böll Foundation and Brot für die Welt (2022), *Green Hydrogen – Hype or Beacon of Hope?*, https://www.boell.de/sites/default/files/2022-08/green_hydrogen_-_hype_or_beacon_of_hope.pdf <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>

Figura 1: Mapa de comercio proyectado y volúmenes de hidrógeno verde para 2050



Fuente: Collins (2022)²⁷

“Es esencial proporcionar a los formuladores de políticas un conjunto de recomendaciones, generalmente acordadas, que puedan garantizar una producción y un comercio de hidrógeno verde sostenibles y beneficiosos para todos. Paralelamente, en los países que planean exportar hidrógeno verde, la sociedad civil debe ser consciente de las oportunidades y los riesgos asociados al emergente comercio de hidrógeno, lo que les permitiría interactuar de manera informada con sus propios formuladores de políticas nacionales así como con los actores industriales. Esta síntesis pretende conseguir ambas cosas”.

27. Leigh Collins (2022), This Is What the Massive International Clean Hydrogen Trade May Look Like in 2050: Irena, <https://www.hydrogeninsight.com/analysis/this-is-what-the-massive-international-clean-hydrogen-trade-may-look-like-in-2050-irena/2-1-1330400>.



Condado de Marsabit, Kenia: las estructuras permanentes de Lake Turkana Wind Power (LTWP) incluyen 365 turbinas eólicas, una subestación y alojamientos para los trabajadores. Las turbinas se instalaron una por día durante un año. Cada una tiene una capacidad de 850 kilovatios. Proporcionan 310 MW de energía a la red nacional de Kenia. © Maurizio Di Pietro / Climate Visuals Countdown

Resumen del proceso

El objetivo del proceso fue integrar a un amplio conjunto de partes interesadas –desde las comunidades locales que podrían verse afectadas por el desarrollo de instalaciones de hidrógeno hasta los expertos internacionales activos en los ámbitos del clima y la energía– y poner en marcha el debate sobre cómo lograr un comercio de hidrógeno ecológico y sostenible. El objetivo no era únicamente obtener una síntesis global, generalmente acordada, para que los formuladores de políticas comprendieran cuáles son los aspectos clave de un futuro comercio beneficioso de hidrógeno, sino también crear una amplia conciencia en la sociedad civil sobre las oportunidades y los riesgos asociados al emergente comercio de hidrógeno, lo que les permitiría interactuar de manera informada con sus propios formuladores de políticas nacionales así como con los actores industriales.



Resumen del proceso, continuación

Cada uno de los países participantes en el proyecto estableció un método ligeramente diferente para obtener los aportes de las partes interesadas y elaborar sus propias conclusiones. En general, se siguieron los siguientes pasos:

- Encontrar a las partes interesadas apropiadas dentro de un amplio sector de la sociedad civil, desde organizaciones no gubernamentales medioambientales, representantes de las comunidades locales y de los pueblos indígenas, sindicatos, expertos en energía y clima, grupos de reflexión y activistas sociales hasta representantes del gobierno.
- Garantizar la comprensión básica de los participantes sobre qué es el hidrógeno verde y cómo se produce e intercambia dentro de los países y entre ellos (para ello, se produjo y distribuyó material educativo).²⁸

- El borrador del Documento de Síntesis Global fue debatido por los participantes en el taller, y sus retroalimentaciones se integraron en el documento final de la síntesis (que usted está leyendo actualmente).

Paralelamente, en nombre de la Fundación Heinrich Böll y de Brot für die Welt, el Instituto Ecológico²⁹ elaboró un documento de políticas³⁰ en el que se investigaban las opciones políticas bi, pluri y multilaterales para incentivar y garantizar un comercio de hidrógeno verde sostenible y justo. El documento se debatió con un amplio grupo de expertos internacionales, cuyos comentarios se integraron en la versión final. Las políticas clave validadas por los expertos internacionales también se incluyeron en el documento de síntesis global, al igual que las políticas –en su mayoría nacionales– desarrolladas por los participantes en las consultas nacionales³¹.



- Organizar cuestionarios y talleres –en algunos casos, múltiples talleres por país– para evaluar las cuestiones clave en torno a la producción y el comercio de hidrógeno.
- Sintetizar los resultados de los talleres nacionales y los cuestionarios en un Documento de Resultados por País.
- A continuación, los Documentos de Resultados por País se sintetizaron en un Documento de Síntesis Global.

29. Ver <https://www.ecologic.eu/>.

30. Benjamin Görlach, Michael Jakob y Ramiro de la Vega (2022), *Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options*, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.

31. Heinrich Böll Foundation and Brot für die Welt (2022), *Green Hydrogen – Hype or Beacon of Hope?* https://www.boell.de/sites/default/files/2022-08/green_hydrogen_-_hype_or_beacon_of_hope.pdf <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>

28. *Ibid.*

Cuadro 2

¿Por qué necesitamos hidrógeno verde?

El hidrógeno verde se considera un elemento esencial en el camino hacia un futuro sin emisiones fósiles. Además de la aplicación industrial establecida, el hidrógeno verde puede utilizarse en sectores de alto consumo energético y difícilmente descarbonizables. Puede almacenarse y transportarse con relativa facilidad—esto último, por ejemplo, a través de tuberías— y puede utilizarse en forma líquida como combustible, por ejemplo, para la aviación y la navegación.

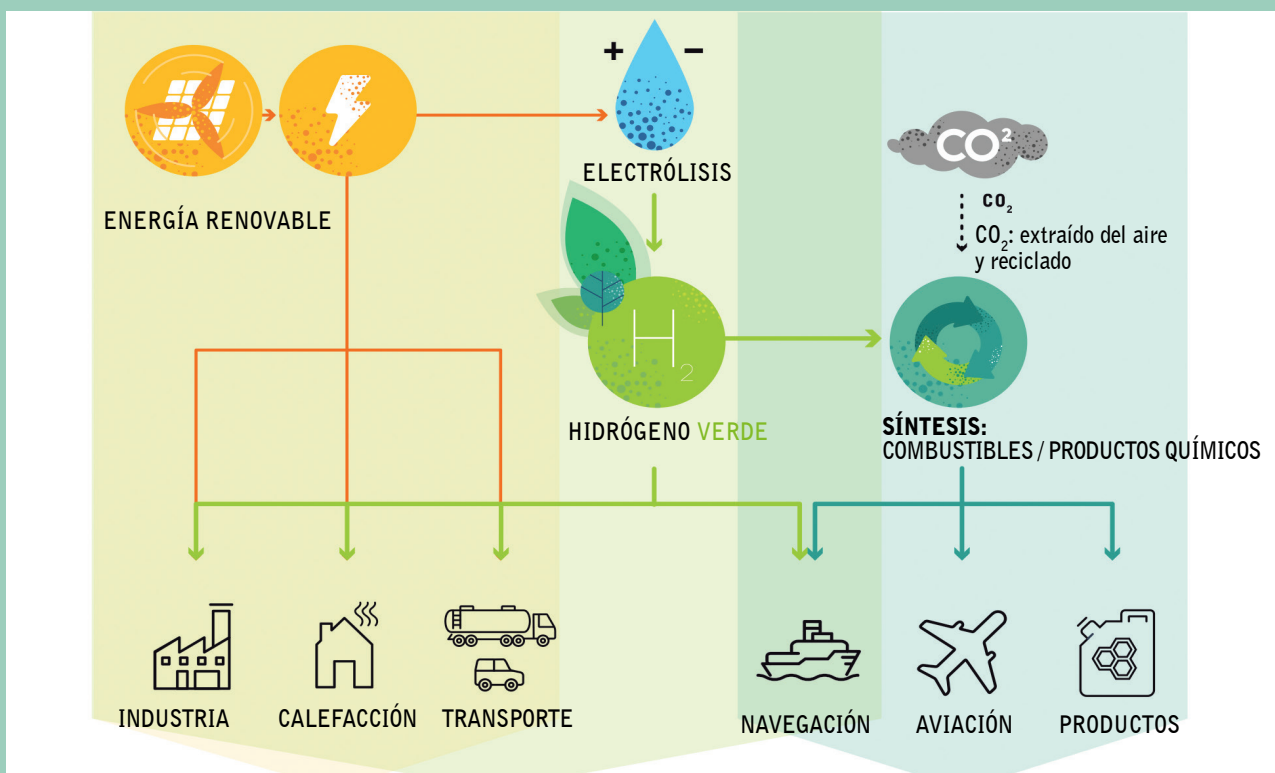
Es muy difícil que la producción de acero, aluminio, cemento o productos químicos, que requiere un uso intensivo de energía, se ajuste al objetivo climático del Acuerdo de París sin utilizar hidrógeno verde. Por el contrario, es poco probable que el hidrógeno verde desempeñe un papel en un futuro previsible como combustible para los autos de pasajeros, ya que los coches con propulsión eléctrica son mucho más baratos y eficientes.

Mientras que se presta mucha atención a las oportunidades del hidrógeno verde para reducir las emisiones de carbono,

se presta mucha menos atención a la reducción en el uso de la energía y a su desperdicio. Para evitar que el hidrógeno verde se convierta en otra tecnología de “falsa solución” es importante que se considere como parte de una estrategia más amplia para reducir el consumo global de energía.

Hidrógeno y Power-to-X (PtX): el término común “PtX” —la “P” de “power” [energía]— se refiere a la electricidad y al aporte de energía para su producción. La “X” representa diferentes productos finales, por ejemplo “power-to-gas” [PtG] como portador de energía gaseosa o “power-to-liquid” [PtL] como combustible líquido. El hidrógeno puede ser un “PtG” o un “PtL”, según el estado de almacenamiento agregado. Las tecnologías PtX pueden “electrificar indirectamente” sectores anteriormente basados en los fósiles. Es decir, la electricidad generada a partir de energías renovables se utiliza para producir productos PtX que sustituyen a los combustibles fósiles y descarbonizan sectores como la industria, el transporte, entre otros.

Figura 2: Usos del hidrógeno






Hidrógeno verde:
criterios de éxito para su
comercio y producción sostenibles

UNA SÍNTESIS BASADA EN CONSULTAS EN ÁFRICA Y AMÉRICA LATINA



A vertical photograph on the left side of the page shows a young Masai herder with his herd of cattle near Lake Natron, Rift Valley, Tanzania. The image is partially obscured by text and a horizontal line.

Joven pastor masai con su ganado cerca del lago Natron, Valle del Rift, Tanzania
© Gideon Ikigai / Shutterstock

Por qué necesitamos criterios y políticas socioecológicas sólidas para la inversión y el comercio de hidrógeno verde

Los talleres nacionales identificaron una serie de oportunidades –pero también de amenazas– relacionadas con la producción y el comercio de hidrógeno verde. Las primeras deben incentivarse con medidas adecuadas y las segundas deben evitarse. Las políticas y criterios propuestos en este documento pretenden lograr ambas cosas.



Por qué necesitamos criterios y políticas socioecológicas sólidas para la inversión y el comercio de hidrógeno verde, continuación

3.1 Principales oportunidades

- Una economía electrificada y apoyada por el hidrógeno renovable puede contribuir al desarrollo y la prosperidad de los países productores, por ejemplo, promoviendo la creación de valor local a lo largo de la cadena de valor, creando nuevas competencias mediante la transferencia de conocimientos tecnológicos y fortaleciendo a los actores económicos locales. Puede aumentar y crear nuevos empleos/medios de vida ecológicos para las comunidades locales, especialmente en los países en desarrollo con una población joven en busca de empleos bien remunerados. Puede crear oportunidades económicas en regiones actualmente desfavorecidas económicamente.
- El hidrógeno verde puede actuar como catalizador para acelerar la inversión en energías limpias, el desarrollo del mercado, el acceso a la energía, la reducción de costes y el avance hacia el 100% de energías renovables a nivel mundial.
- Gracias a su producción neutra, desde el punto de vista climático, el hidrógeno verde puede contribuir a alcanzar los objetivos climáticos mundiales.
- Puede reducir la polución del aire y aumentar la salud de los ciudadanos al disminuir la exposición a la contaminación atmosférica procedente de los combustibles fósiles o de las emisiones por radiación.
- Puede desarrollar asociaciones rentables –y a largo plazo– entre países potencialmente exportadores y países potencialmente importadores.
- Los países exportadores pueden obtener valiosos ingresos provenientes del extranjero gracias a las exportaciones de hidrógeno verde y, en particular, de los productos derivados con alto valor añadido.
- El comercio también puede incentivar la producción para satisfacer las demandas de hidrógeno locales; crear o descarbonizar las industrias locales –como la producción de fertilizantes³² con amoníaco verde– y el transporte; y desarrollar

32. Una oportunidad adicional es la producción de fertilizantes “verdes” libres de fósiles. Sin embargo, esto sólo debería servir para apoyar la reducción general del uso de dichos fertilizantes sintéticos en la agricultura industrial y encontrar versiones más respetuosas con el medio ambiente, véase Facundo Calvo (2022), Why We Must Rethink the Use of Nitrogen Fertilizers, <https://www.iisd.org/articles/analysis/tacklinghunger-nitrogen-fertilizers>.

una infraestructura verde para la producción de energía, así como para su transporte y almacenamiento³³.

- El aumento de las energías renovables y de la producción de hidrógeno puede diversificar la producción de energía, lejos de los pocos proveedores actuales de combustibles fósiles, disminuyendo los costes y aumentando la seguridad del suministro.
- Cuando se hace de una manera correcta, la producción de hidrógeno verde puede reforzar la biodiversidad y la salud medioambiental al evitar la extracción de carbón, otros combustibles fósiles o la producción y contaminación nuclear.

3.2 Principales preocupaciones

- Existen riesgos relacionados con los conflictos por el uso de la tierra, el reasentamiento forzado y la expropiación para las instalaciones de energía renovable a gran escala, así como con las violaciones de los derechos humanos.
- Los ecosistemas frágiles podrían resultar dañados o destruidos por la mala elección de los emplazamientos de las instalaciones, incluida la perturbación de las rutas migratorias de aves en peligro de extinción y las posibles fugas de las tuberías, que podrían aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero.
- El otro riesgo asociado a las fugas de hidrógeno es la alta inflamabilidad de este gas, que ya ha provocado accidentes en las estaciones de distribución de hidrógeno.
- Como la electrólisis requiere agua dulce, su uso –para la producción de hidrógeno– podría aumentar la escasez de agua, lo que podría provocar conflictos entre los diferentes usuarios del agua, especialmente en las regiones secas.
- Si se produce agua dulce adicional para la producción de hidrógeno a través de la desalinización, la vida marina podría sufrir diversos impactos si la salmuera de la desalinización no se trata adecuadamente.
- Si se da prioridad al hidrógeno para las exportaciones a largo plazo, se podría renunciar a la posibilidad de

33. Power Shift Africa (2022), *Civil Society Perspectives on Green Hydrogen Production and Power-to-X Products in Africa*, <https://www.powershiftafrica.org/publications/civil-society-perspectives-on-green-hydrogen-production-and-power-to-x-products-in-africa>.

que la capacidad de energía renovable y el hidrógeno beneficien también al suministro energético nacional y a la transición energética, por ejemplo cuando los países importadores de hidrógeno ofrecen mejores precios que los usuarios de las naciones exportadoras. Esto podría incluso perpetuar el monopolio de la generación de energía fósil si las instalaciones de energía renovable sólo se utilizan para producir hidrógeno para la exportación.

- El Norte Global y los países importadores más industrializados podrían seguir alimentando a las industrias

manteniendo (o aumentando) los niveles actuales de consumo. Esto podría desviar el hidrógeno verde de usos esenciales en sectores difíciles/imposibles de electrificar hacia fines menos eficientes.

- Los puestos de trabajo podrían pasar por alto a la población local si no existen programas de creación de capacidades.
- Los problemas actuales de equilibrio de poder podrían continuar si los países importadores impusieran prácticas comerciales injustas, o si la mala gobernanza de los países importadores y/o exportadores, o ambos, condujera a beneficios para unos pocos, en detrimento de muchos y del planeta.

Cuadro 3

¿Por qué necesitamos hidrógeno verde?

Algunas cuestiones requieren más investigación a propósito de la producción, el transporte y el uso del hidrógeno, por ejemplo:

Fuga de hidrógeno: Un estudio publicado recientemente³⁴ por el Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial del Reino Unido descubrió que el hidrógeno podría ser un gas de efecto invernadero (GEI) dos veces más potente de lo que se pensaba, unas 11 veces más que el dióxido de carbono (CO₂) por tonelada de emisiones. Al reaccionar con otros GEI en la atmósfera, como el metano o el ozono, la molécula de hidrógeno aumentaría su potencial de calentamiento global. Así, "cualquier fuga de hidrógeno provocará indirectamente un aumento del calentamiento global", advierte el informe. La molécula de hidrógeno —la más pequeña de las moléculas gaseosas— es muy volátil y, por tanto, podría escaparse fácilmente de las tuberías y conductos. Es un reto hacer que los tanques y tuberías que contienen hidrógeno sean a prueba de fugas, especialmente cuando el elemento se comprime a niveles de presión muy altos. Sin embargo, muchas empresas químicas han demostrado que es posible dar un manejo al hidrógeno —una materia prima bastante costosa y hasta ahora producida a partir de combustibles fósiles y del proceso de craqueo— sin que se produzcan fugas. Evidentemente, se trata de una cuestión que requiere más investigación para garantizar que no se produzcan fugas.

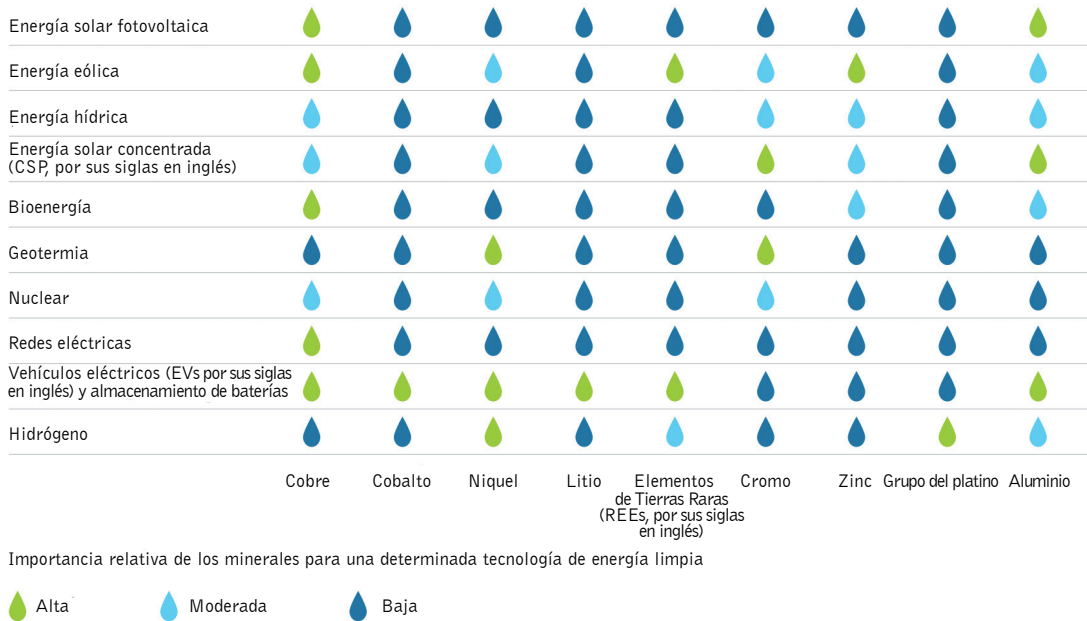
Amoníaco y óxido nitroso:³⁵ Otra cuestión que ha aparecido en la ciencia reciente tiene que ver con el amoníaco (NH₃), un derivado del hidrógeno. Aunque el amoníaco podría resolver el problema del CO₂ en el transporte marítimo, podría crear un problema de óxido nitroso (N₂O), reduciendo potencialmente el beneficio climático del amoníaco. El óxido nitroso es un GEI 273 veces más potente que el CO₂. El amoníaco se ha propuesto como combustible para el transporte marítimo, pero no se conocen bien sus posibles efectos secundarios. Si las emisiones de nitrógeno (N₂) del amoníaco no se controlan de manera estricta, el ciclo global del nitrógeno podría verse alterado de forma sustancial como consecuencia de la aumento de las demandas del transporte marítimo. Por ejemplo, si se produjera una fuga del 0,4% que diera lugar a emisiones de óxido nitroso, se anularía el beneficio de descarbonización derivado de la eliminación del carbono de los combustibles del transporte marítimo. Dicho esto, el amoníaco es una molécula químicamente muy estable y el riesgo de fuga es pequeño. Una alternativa a la combustión de amoníaco podría ser el craqueo del amoníaco en hidrógeno y nitrógeno con el posterior uso del hidrógeno en una célula de combustible de membrana de intercambio de protones (u otras tecnologías de célula de combustible).

34. UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy (2022), Atmospheric Implications of Increased Hydrogen Use, <https://www.gov.uk/government/publications/atmospheric-implications-of-increased-hydrogen-use>.

35. P. Wolfram, P. Kyle, X. Zhang et al. (2022), Using Ammonia As a Shipping Fuel Could Disturb the Nitrogen Cycle, Nat Energy, <https://doi.org/10.1038/s41560-022-01124-4>



Figura 3: Necesidades de minerales en las tecnologías de energías limpias



Fuente: AIE 2021³⁶

Riesgos de fuga y otros posibles riesgos relacionados con el hidrógeno verde

Uso de materiales:³⁷ El hidrógeno verde, como cualquier otra producción de energía, también necesita materiales para su producción. Sin embargo, una de las ventajas del hidrógeno es que puede almacenarse durante mucho tiempo, sobre todo en el sector de la energía cuando no hay viento ni sol, lo que evita necesitar de algunas baterías (muchas de ellas se utilizan para el almacenamiento de electricidad). Esto es importante porque las baterías de iones de litio han aumentado su popularidad en la última década. Su popularidad está ejerciendo presión sobre el suministro de litio, níquel y cobalto, el último de los cuales se extrae sobre todo en la República Democrática del Congo, en circunstancias a menudo muy negativas para la población local y el medio ambiente, mientras que la extracción de litio requiere grandes cantidades de agua dulce y tiene una alta ecotoxicidad. Sin embargo, la energía renovable necesaria para producir hidrógeno también necesitará materiales. En este

contexto, es importante que la mayor parte de esa energía se utilice en aplicaciones directas y en la electrificación, y que el hidrógeno se destine únicamente a sectores seleccionados y difíciles de electrificar. El uso de los minerales varía según las diferentes tecnologías de energía renovable. Sin embargo, en comparación con la extracción, con el transporte y con las emisiones de los combustibles fósiles, o con los residuos tóxicos de la energía nuclear, el despliegue renovable es más limpio, sobre todo cuando se incrementa **el reciclaje de los minerales y materiales** utilizados, se evitan las violaciones de los derechos humanos, se reduce el consumo de agua dulce y se desarrollan nuevos materiales en los programas de investigación y desarrollo (I+D), creando una condición previa para el crecimiento sostenible y fiable a largo plazo de las tecnologías renovables. Paralelamente, es necesaria **la integración de normas ESG más estrictas, como las normas IRMA³⁸ sugeridas por organizaciones no gubernamentales.**

36. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/mineral-requirements-for-clean-energy-transitions>

37. AIE (s.f.), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions/executive-summary>.

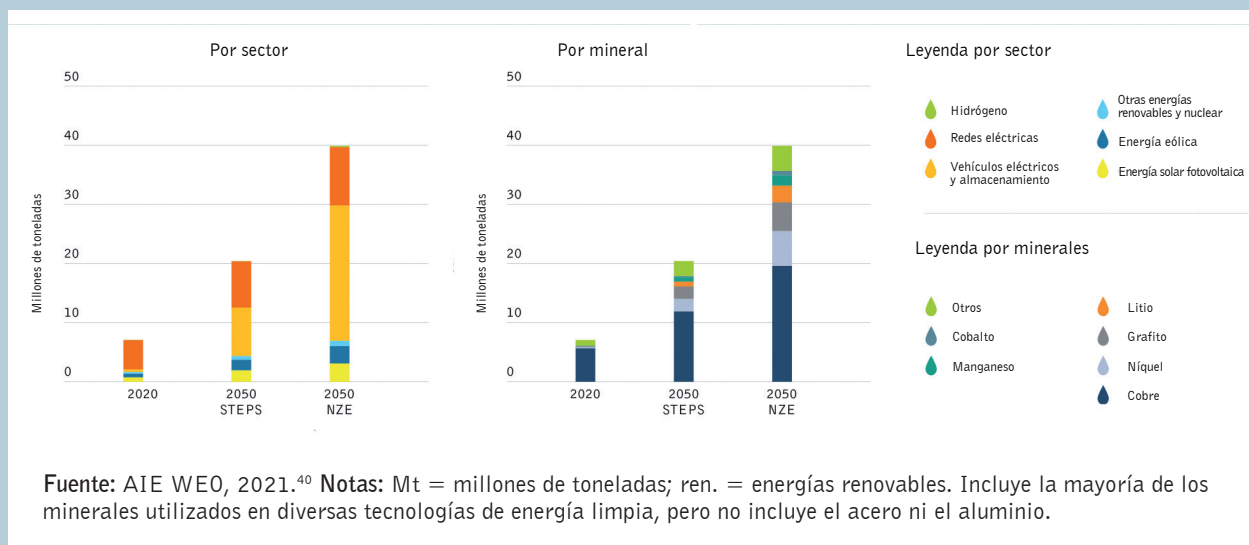
38. Initiative for Responsible Mining Assurance (s.f.), The Standard for Responsible Mining, <https://responsiblemining.net/what-we-do/standard/>.

La producción de hidrógeno requiere algunos minerales específicos: algunos tipos de electrolizadores necesitan metales de platino, y el níquel también se necesita en niveles relativamente altos. Según un estudio alemán³⁹, la demanda de escandio se incrementará en

39. Deutsche Rohstoffagentur (2022), Mineralische Rohstoffe für die Wasserelektrolyse, https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA%20Themenheft-01-22.pdf;jsessionid=CEF4AF826D5E40112BEA2B4A96D3ED40.1_cid331?__blob=publicationFile&v=2.

2,7 veces para el año 2040 y la de iridio se quintuplicará con respecto a 2018, esto principalmente para la tecnología utilizada para dividir el agua en moléculas de hidrógeno y oxígeno mediante el uso de electricidad: la membrana de intercambio de protones. Mientras que el escandio está relativamente disponible, el iridio es mucho más raro: actualmente se produce entre el 80% y el 85% en Sudáfrica, y gran parte del resto en Rusia. Sin embargo, la necesidad adicional que tiene el hidrógeno de minerales críticos es limitada en comparación con otras tecnologías.

Figura 4: Demanda de minerales para las tecnologías de energía limpia por escenario



3.3 La necesidad de políticas y criterios socioecológicos

Para mitigar estos riesgos y garantizar un enfoque positivo para la producción y el comercio emergentes de hidrógeno, los participantes en el taller han elaborado recomendaciones que se refieren ampliamente a los aspectos medioambientales y sociales y que incentivan el hidrógeno “verde” frente al “de otro color”. Al más alto nivel, el hidrógeno producido para la exportación debe estar integrado en la estrategia general de un país, lo que incluye el respeto de los objetivos del Acuerdo de París, así como el reconocimiento de los objetivos de desarrollo y energía de dicho país (como pueden serlo la aceleración del acceso a la energía para todas las personas, la reducción de la pobreza energética, así

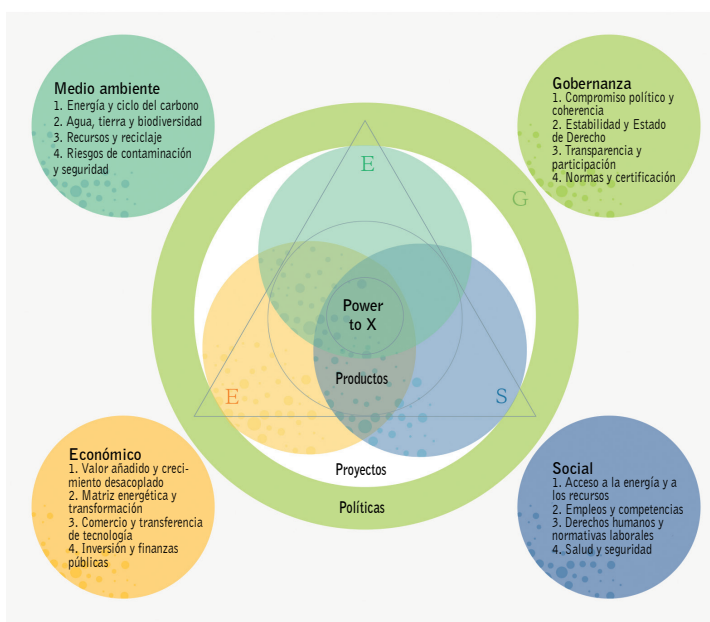
como promover la transición a una economía 100% basada en energías renovables). Dichas estrategias deben incluir la protección de los ecosistemas, la generación de prosperidad económica, la promoción de la inclusión y la cohesión social, el respeto por los derechos humanos y sociales, la garantía de la aceptación pública y la participación de las múltiples partes interesadas, la promoción de la buena gobernanza y la transparencia. En resumen, para que el comercio de hidrógeno sea útil para todos, en las consultas con las partes interesadas se llegó a la conclusión de que debe integrarse en el proceso general de transición energética.

El “punto óptimo” del hidrógeno verde es, por tanto, cuando engloba todos estos factores, como se ilustra en la siguiente figura:

40. P. 272 <https://iea.blob.core.windows.net/assets/4ed140c1-c3f3-4fd9-acae-789a4e14a23c/WorldEnergyOutlook2021.pdf>



Figura 5: Mapa de comercio proyectado y volúmenes de hidrógeno verde para 2050



Fuente: International PtX Hub (n.d.).⁴¹

41. International PtX Hub (s.f.), PtX. Sustainability Dimensions and Concerns (Scoping Paper), <https://ptx-hub.org/ptx-sustainability/>



Principales recomendaciones

Este capítulo resume las recomendaciones del documento político "Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen",⁴² elaborado por el Instituto Ecológico por encargo de la Fundación Heinrich Böll y Brot für die Welt. Dicho documento se debatió y comentó en un taller internacional al que asistió un grupo de expertos y partes interesadas. También se incluyen las propuestas políticas surgidas de los talleres nacionales realizados durante este proyecto. Estas políticas, normas y medidas son recetas para el desarrollo exitoso de la producción y el comercio de hidrógeno verde y sostenible.

Aunque es probable que gran parte del comercio emergente de hidrógeno sea, al principio, de carácter regional debido a los costes de transporte –IRENA supone que el 75% de la demanda de hidrógeno en 2050 se producirá y utilizará a nivel local/regional–, también es probable que surja un mercado transnacional de hidrógeno⁴³.

42. Benjamin Görlach, Michael Jakob, y Ramiro de la Vega (2022), Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> y <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.

43. IRENA (2022), *A Quarter of Global Hydrogen Set for Trading by 2050* Tweet, <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2022/Jul/A-Quarter-of-Global-Hydrogen-Set-for-Trading-by-2050>.

Para lograr una reducción de costes y una rápida ampliación, el mercado del hidrógeno deberá organizarse en última instancia como un mercado competitivo, en el que los proveedores compitan en un único mercado mundial en función de sus costes marginales de producción, favoreciendo a los proveedores que puedan producir al menor coste, siempre que se cumplan los criterios medioambientales y de sostenibilidad (y puedan documentarse y rastrearse). Uno de los escollos es, por tanto, garantizar que los productores no compitan en función de la rigidez de las normas de sostenibilidad (o de su estricto cumplimiento) –lo que podría llevar a una "carrera perversa" en la que las normas más laxas o menos aplicadas tuvieran una ventaja competitiva–, sino únicamente en función de sus costes de producción tras haber cumplido las normas mínimas acordadas.⁴⁴

Por lo tanto, las políticas y normas necesarias para lograr un comercio sostenible de hidrógeno deben establecerse activamente, y los países pueden desarrollar políticas uni-, bi-, pluri- o multilaterales para garantizar la sostenibilidad.

44. Benjamin Görlach, Michael Jakob, y Ramiro de la Vega (2022), Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options, p. 14, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> y <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.



Principales recomendaciones, continuación

Como principio general, las políticas deben configurarse de manera que los países productores se beneficien de toda la cadena de valor de la producción y el comercio de hidrógeno verde. El hidrógeno sólo debe utilizarse en los sectores que no pueden electrificarse: en general, la electrificación basada en energías renovables es más eficaz, menos costosa y produce menos emisiones que el hidrógeno. Por lo tanto, las estrategias de exportación deben considerar cuidadosamente el equilibrio entre la producción de hidrógeno y la producción de energía renovable para uso local, y la creación de ingresos externos a partir de las exportaciones. Paralelamente, lo que da al hidrógeno verde y sostenible su valor comercial es su carácter verde: el hecho de que se haya producido (casi) libre de carbono. Este carácter debe ser controlado y verificado de forma transparente y fiable, de acuerdo con criterios establecidos y acordados internacionalmente, los cuales necesitan regulación y supervisión.

A medida que los países y sus industrias –incluidos los sectores en los que la reducción de las emisiones resulta más difícil de conseguir– pasen a utilizar hidrógeno verde con el objetivo de reducir el contenido de carbono de sus productos, esto también afectará positivamente a las políticas fiscales relacionadas con el carbono, reduciendo así las posibles barreras a la importación, como el Mecanismo de Ajuste de las Fronteras de Carbono previsto por la Unión Europea (UE).

El mercado mundial del hidrógeno verde y sus derivados está empezando a surgir. Para desarrollar un comercio internacional sostenible de hidrógeno verde se necesita una cooperación y una regulación internacionales coherentes. Para establecer este mercado y garantizar su buen funcionamiento, es necesario contar con varios elementos:

- Un **sistema de seguimiento y contabilidad** del hidrógeno verde y sus derivados para documentar el carácter verde del hidrógeno comercializado. Esto podría tomar la forma de un registro de hidrógeno que documente el origen del hidrógeno comercializado (o sus derivados) y sus emisiones incorporadas.⁴⁵

45. Una vez el hidrógeno es producido, no es posible decir con qué fuente de energía se ha hecho. Así, las plantas de hidrógeno conectadas a la red eléctrica podrían ver cuestionada su clasificación de hidrógeno verde. Por lo tanto es necesario establecer un sistema de certificación que no encarezca o haga inviable la cadena de producción y que, al mismo tiempo, contenga información suficiente para los consumidores y los formuladores de políticas. Esto debería incluir una definición armonizada de hidrógeno verde, de modo que “verde” signifique, efectivamente, 100% renovable.

- **Normativas para el hidrógeno verde y sostenible**, incluyendo **mecanismos de supervisión y reclamación**, para garantizar el cumplimiento de las normas y especificar las soluciones en caso de incumplimiento. En las secciones 6.1 y 6.2 figuran recomendaciones dirigidas específicamente a las preocupaciones medioambientales y sociales.
- **Disposiciones para el mercado actual** (qué materia prima se negocia en qué plataforma y en qué condiciones; qué productos financieros se aplican; cómo se compensan las operaciones).
- **Garantías para los inversores** sobre las condiciones de comercialización del hidrógeno producido en los proyectos de inversión previstos.

Estos elementos pueden disponerse en diferentes niveles:

- Los criterios y normas sociales y medioambientales pueden garantizarse a **nivel nacional** (o regional/local),
- A **nivel bilateral**, cooperación entre dos países (normalmente un posible proveedor y un posible importador),
- A **nivel plurilateral**, acordado entre un grupo limitado de países con intereses comunes, por ejemplo la UE (posiblemente con socios), o iniciativas fuera de la órbita del G7/G20, como la Asociación Internacional para el Hidrógeno y las Pilas de Combustible en la Economía,
- Como iniciativa **multilateral** que es, en principio, abierta a cualquier país y aplicable a cualquier país que sea miembro de la iniciativa.

4.1 Recomendaciones medioambientales específicas

Requisitos de supervisión y mecanismos de control para evitar las fugas de los conductos de hidrógeno y sanciones estrictas –en caso de que se produzcan dichas fugas– para garantizar la disuasión de una supervisión poco rigurosa, así como un compromiso claro de excluir cualquier importación de hidrógeno que implique fugas importantes. También puede ser recomendable no comercializar el hidrógeno en su forma gaseosa, sino en forma de derivado.

Uso del agua y desalinización: minimizar el uso del agua y hacer que la desalinización sea segura y limpia. Los proyectos de hidrógeno verde no deben poner en peligro el suministro local de agua. Si se desarrollan nuevas fuentes de agua (por ejemplo, plantas de desalinización) para la producción de

hidrógeno o su posterior procesamiento, también deben contribuir a reducir el estrés hídrico y aumentar la disponibilidad de agua para la población local en la región de producción en su conjunto. En el caso de las plantas de desalinización, estas deben ir acompañadas de una evaluación de impacto y de medidas que garanticen que no se produzcan impactos negativos: por ejemplo, la salmuera resultante debe minimizarse, diluirse y dispersarse adecuadamente. Esto requiere un seguimiento del uso del agua a lo largo de toda la cadena de producción del hidrógeno verde.

Licencias y estudios de impacto ambiental: debe exigirse la concesión de licencias para todos los proyectos, con la elaboración de Estudios Estratégicos independientes (que permitan una correcta planificación y gestión de un gran número de proyectos en toda la región o país) y de Estudios de Impacto Ambiental específicos e informes. Esto incluye la evaluación de los impactos potenciales de los proyectos sobre la preservación de la biodiversidad y los sumideros de carbono y la prueba de las ubicaciones óptimas para las instalaciones. En la evolución del proceso de concesión de licencias y determinación de impactos, los agentes gubernamentales y las empresas privadas deben garantizar la organización y el respeto de las audiencias públicas.

Planeación espacial – garantizar la ubicación óptima de las instalaciones: aunque el hidrógeno verde tiene bajas emisiones de gases de efecto invernadero, puede generar impactos significativos en los territorios y las comunidades. Muchos de los proyectos propuestos son a gran escala para generar electricidad a bajo coste. Las plantas de energía solar o eólica, la demanda de agua o las plantas de desalinización, el transporte, el almacenamiento y las infraestructuras portuarias generarán diferentes tipos de impactos y riesgos. Sin una planificación adecuada del uso del suelo, los proyectos podrían acabar teniendo efectos negativos en las comunidades y ecosistemas circundantes. La producción de hidrógeno debería excluirse en determinadas zonas vulnerables, como lo son los focos de biodiversidad o donde no se pueda conseguir un uso conjunto de las tierras de cultivo. Deberían actualizarse los atlas solares y eólicos para garantizar el cumplimiento de las políticas y leyes medioambientales, y deberían tenerse en cuenta las áreas esenciales para la protección de las fuentes de agua, la biodiversidad, las zonas de producción agroecológica y las zonas de pequeñas explotaciones. Como parte de una estrategia nacional del hidrógeno, debería completarse una zonificación exhaustiva para

definir las áreas prioritarias para el desarrollo de energías renovables a gran escala para la producción del elemento. Antes de ello, debe realizarse un mapeo del uso tradicional de la tierra (incluyendo el pastoreo temporal), el patrimonio cultural indígena y los ecosistemas con alto valor de biodiversidad. Además, debe priorizarse la construcción de las plantas en zonas ya clasificadas para uso industrial, con el fin de evitar conflictos con las comunidades.

Uso de recursos: los paneles solares, las turbinas eólicas y los electrolizadores utilizan materiales –como las tierras raras– que implican procesos de extracción. Las industrias extractivas se han asociado repetidamente con la degradación del medio ambiente y las violaciones de los derechos humanos. Por lo tanto, la producción de hidrógeno debería demostrar que depende de materiales obtenidos según las normas medioambientales y de derechos humanos para las actividades extractivas. Por ejemplo, un requisito podría ser que las fuentes de energía renovable y los hidrolizadores incluyan materiales procedentes de países signatarios de la Iniciativa para la Transparencia de las Industrias Extractivas.⁴⁶ Es necesario aumentar el reciclaje de los materiales usados en un enfoque de economía circular.

Figura 6: Proyección de la instalación solar en Namibia para un proyecto de hidrógeno



Fuente: Hyphen Hydrogen Energy (s.f.)⁴⁷

46. Benjamin Görlach, Michael Jakob, y Ramiro de la Vega (2022), *Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options*, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> y <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>

47. Hyphen Hydrogen Energy (s.f.), https://hyphenafrika.com/wp-content/uploads/2022/05/ETAPA-4-ZONA-1-1_Moment-Medium.jpg.



Principales recomendaciones, continuación

4.2 Recomendaciones sociales específicas

- **Para los países importadores:** exigir que sus marcos de adquisición y certificación de hidrógeno verde incluyan los derechos humanos internacionales, así como las normas sociales y medioambientales.
- **Gobernanza y participación ciudadana - democratizar el debate energético:** reforzar la difusión de información sobre la energía en un lenguaje sencillo y accesible que permita a las comunidades, los movimientos sociales y la sociedad civil seguir e intervenir en la temática, comprender la necesidad de una transición energética justa y sostenible, y participar en el debate político. En el caso de los proyectos previstos, promover consultas públicas con las comunidades locales y las organizaciones de la sociedad civil. Éstas deben aportar una contribución significativa al proceso de toma de decisiones y no ser meros ejercicios de “marcar la casilla”, y deben producirse regularmente durante la planificación, la ejecución y el monitoreo de los proyectos. La participación efectiva requiere invertir en la capacitación de las partes locales interesadas, establecer mecanismos transparentes de reclamación y crear formatos en los que los ciudadanos puedan participar activamente en la toma de decisiones. La participación de las distintas partes interesadas y de la sociedad civil puede, potencialmente, garantizar la aceptación y la apropiación de los proyectos, por lo que también debería interesar a los promotores de los mismos.
- **Promover la participación de las comunidades locales** desde el diseño mismo del proyecto y generar incentivos que promuevan el desarrollo local y distribuido, principalmente a través de pequeñas empresas. Considerar el uso de la tierra y del agua, así como los derechos de propiedad ancestrales de las comunidades indígenas en el diseño de los proyectos. Garantizar que las comunidades usuarias de la tierra tengan el apoyo legal para negociar con las empresas energéticas y acceder a una mediación independiente en caso de conflicto. También debe garantizarse que al interior de las comunidades locales todas las personas tengan voz y voto, por ejemplo que los hombres no decidan por las mujeres (diferencias/discriminación por razón de género).
- **El consentimiento libre, previo e informado (CLPI) y los protocolos de consulta:** en el caso de los proyectos que se llevan a cabo en comunidades indígenas y tradicionales que se encuentran directamente afectadas, debe realizarse una consulta previa, tal y como lo establece el Convenio 169 de la OIT. Las comunidades locales deben tener derecho a rechazar proyectos energéticos desfavorables en sus tierras.
- Promover los usos sinérgicos de la tierra para evitar conflictos de uso del suelo, por ejemplo, combinaciones de usos solares y agrícolas y de pastizales de la misma tierra (agrofotovoltaicos).
- **Crear seguridad laboral y formación** a través de una planificación inclusiva de las infraestructuras de hidrógeno, garantizando así la formación de habilidades en las comunidades locales para que estén cualificadas para ocupar los puestos de trabajo creados por la producción de hidrógeno en su región. Garantizar unas condiciones de trabajo adecuadas y estables.
- **Promover las mejores nuevas tecnologías:** la industria eólica y la industria solar han experimentado grandes avances tecnológicos, como el aumento de la potencia de las turbinas eólicas y la reducción del ruido. En cuanto a la energía solar, el concepto agrofotovoltaico ha avanzado en varios países, permitiendo la producción conjunta de energía y alimentos. Es necesario impulsar estos avances para que la producción de hidrógeno sea compatible con las poblaciones locales. La investigación también puede promover el desarrollo de capacidades y habilidades en la región (papel de las universidades regionales).

Cuadro 4

Adicionalidad

Garantizar que los proyectos de hidrógeno contribuyan al acceso a la energía y a la superación de la pobreza energética, poniendo a disposición de la población local parte de la generación adicional de energía renovable y de hidrógeno. La producción de hidrógeno verde debe centrarse en el despliegue y la producción de energías renovables y en los usos locales y domésticos del hidrógeno, no sólo en las exportaciones. Esto podría resolverse si la energía renovable para la producción de hidrógeno fuera inequívocamente “adicional”, es decir, que no se hubiera instalado en ausencia de la producción de hidrógeno verde. La adicionalidad es necesaria para garantizar que el desarrollo de este sector no vaya en detrimento de la transición energética en su conjunto. Los requisitos de adicionalidad deberían ser obligatorios para garantizar que el crecimiento del mercado del hidrógeno verde conduzca al crecimiento del sector de las energías renovables

y tenga un impacto positivo en la transición energética. Sin embargo, no hay una manera sencilla de garantizar la adicionalidad, salvo controlar las fuentes de energía, la distribución y el acceso a la energía, y la reducción general de la pobreza energética en los países productores. En principio, la adicionalidad estaría garantizada si sólo se pudiera comercializar el hidrógeno producido a partir de fuentes no conectadas a la red eléctrica del país. Sin embargo, estas soluciones insulares serían económicamente costosas e irían en contra del objetivo de que la producción de hidrógeno sirva para la transformación del sistema energético nacional. Otra opción podría ser la conexión a la red si la intensidad del carbono de la electricidad (es decir, las emisiones por kilovatio hora – kWh) está por debajo de un determinado umbral, lo que podría incentivar a los países a descarbonizarse para poder exportar hidrógeno. Además, la intensidad de carbono requerida podría ajustarse dinámicamente a lo largo del tiempo para garantizar que dicho incentivo se mantenga.⁴⁸

4.3 Normas y políticas nacionales

Unas políticas nacionales adecuadas que pongan en práctica los criterios y normas mencionados son una condición previa para que el comercio de hidrógeno verde tenga éxito y sea sostenible. Muchas políticas relativas a la promoción de las fuentes de hidrógeno verde frente a las de otros colores, así como a la garantía de criterios sociales y medioambientales (véanse también los apartados 4.1 y 4.2), pueden crearse a nivel nacional, aunque un acuerdo internacional sobre cuáles deberían ser los criterios –y la adhesión internacional a tales normas y políticas– sería claramente útil para evitar un mercado complicado o fragmentado.

- Desarrollar y orientar los **planes y estrategias energéticas nacionales y regionales**, integrando en ellos la estrategia de hidrógeno verde del país, de forma congruente con los objetivos climáticos y de desarrollo nacionales. Asegurarse de que todos los ministerios pertinentes (medio ambiente, desarrollo, etc.) estén incluidos en la planificación, y no sólo los de energía o economía. La difusión de hojas de ruta y estrategias nacionales es un paso necesario para proporcionar una visión a largo plazo del hidrógeno. Esto incluye definir

si se instalan plantas centralizadas de producción de hidrógeno verde (más fácil para la exportación) con su posterior distribución, o si se produce en diferentes lugares para disminuir el volumen distribuido tras la producción (esto es mejor en caso de un uso principalmente doméstico). Todo ello es relevante para el proceso de planificación, especialmente cuando se trata de la infraestructura.

- Desarrollar una **ley integral sobre el hidrógeno** que incentive el desarrollo del hidrógeno verde y garantice mecanismos de participación social desde el diseño inicial del proyecto. Hacer que la estrategia del hidrógeno sea transparente y aceptable, implicando a las diferentes partes interesadas (comunidades, investigadores independientes, sociedad civil) en su elaboración, aumentará la aceptación y la adhesión. Además, aunque los objetivos inmediatos sean la exportación, hay que asegurar los beneficios sociales y económicos en el país donde se produce el hidrógeno verde, incluyendo el desarrollo de tecnología para la producción de hidrógeno verde, las cadenas de valor para la fabricación, la instalación y el mantenimiento de equipos y sistemas de producción, etc.
- **Generar y/o adaptar marcos legislativos y regulatorios** que creen condiciones para que el mercado se desarrolle y se amplie, y que además sean claros, precisos y con un periodo de tiempo que proporcione previsibilidad a los inversores y a la industria. Promover una gestión descentralizada que permita la transparencia y la eficiencia mediante el uso de redes de cadenas de bloques.

48. Benjamin Görlach, Michael Jakob, y Ramiro de la Vega (2022), *Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options*, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> y <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>.



Principales recomendaciones, continuación

- Hasta hace poco, el hidrógeno verde era significativamente más caro que el hidrógeno basado en combustibles fósiles. El elevado precio del gas, consecuencia de la invasión rusa a Ucrania, ha cambiado significativamente el atractivo relativo del hidrógeno verde frente al fósil. Los expertos creen que la paridad de costes se alcanzará en algunas regiones del mundo en 2030 (presumiblemente se dé antes si persisten los altos precios de los combustibles fósiles y nucleares), lo que hará que el hidrógeno verde sea cada vez más atractivo. Para incentivar rápidamente el hidrógeno verde, el factor más importante es **cerrar la brecha de precios** con el hidrógeno no verde:
 - Generando **instrumentos financieros que incentiven la incorporación del hidrógeno verde** a los sistemas energéticos y, a su vez, desincentiven las subvenciones a los combustibles fósiles, por ejemplo, reorientando las subvenciones que actualmente reciben los combustibles fósiles para favorecer e impulsar la transición energética, incluyendo el desarrollo del hidrógeno verde.
 - **Creando etiquetas** para el hidrógeno importado y sus derivados que cumplan las (más estrictas) normas.
 - Indirectamente, el hidrógeno verde también podría beneficiarse de las **medidas de apoyo a las energías renovables**. Por ejemplo, sólo el hidrógeno que cumpla los requisitos establecidos en la Directiva de Energías Renovables de la UE puede contabilizarse para la consecución de los objetivos allí especificados. Por esta razón, el apoyo financiero, es decir, en forma de ingresos procedentes de sistemas de cuotas negociables, se limita al hidrógeno que cumple estos criterios, independientemente de si se importa o se produce en la UE.
 - Un **precio del carbono** (el precio de emitir gases de efecto invernadero) para incentivar el hidrógeno verde también puede dirigirse al ámbito doméstico para hacer que el hidrógeno sea competitivo frente a los combustibles convencionales donde, de otro modo, no es una opción económica.
 - Establecer un **precio mínimo** para el productor que proporcione estabilidad a las empresas durante un periodo razonable.
 - Promover **préstamos y bonos verdes** para apalancar las inversiones en infraestructuras iniciales.
 - **Fomentar un pago específico** en forma de contrato por diferencia que cubra la diferencia de precios entre el hidrógeno verde y el convencional, haciendo coincidir las fuentes de demanda y de suministro de hidrógeno verde. Esto garantiza un precio que permite las inversiones, al tiempo que sigue siendo competitivo con el hidrógeno convencional.
- **Prohibir las alternativas fósiles:** esto incluye restricciones de acceso al mercado para el hidrógeno y los productos derivados que no cumplan las normas, por ejemplo en el caso de la UE, prohibiendo las importaciones sobre la base de la legislación o las directrices de la cadena de suministro de la UE. Esto también podría tener como efecto la finalización de las normas dinámicas para dar paso a unas normas cada vez más ambiciosas y estrictas. Se suelen plantear preocupaciones sobre la falta de compatibilidad con las normas de la Organización Mundial del Comercio, que establecen requisitos exigentes para imponer barreras basadas en el proceso de producción de un producto. Sin embargo, aún no se ha investigado el fundamento de estas preocupaciones.⁴⁹ Como alternativa, la prohibición de las importaciones también podría aplicarse como una obligación (nacional) de eliminación progresiva del hidrógeno no verde y sus derivados (ya sean importados o producidos en el país), prohibiendo su venta y/o uso después de una fecha de eliminación anunciada.
- **Crear/garantizar la demanda:** las cuotas y las obligaciones o mandatos de mezcla para el uso de hidrógeno verde garantizan una demanda fija y, por tanto, una mayor seguridad para los proveedores. La contratación pública (por ejemplo, el uso de acero verde en proyectos de construcción pública) con la intención de crear

49. Una variación de este enfoque podría ser el incluir las importaciones de hidrógeno en un mecanismo de ajuste en frontera por Carbono, como el Mecanismo de Ajuste de Carbono en Frontera propuesto por la Comisión Europea como parte de su paquete "Fit for 55". Esto supondría una penalización sobre las emisiones de carbono generadas en la producción de hidrógeno, podría hacer que el hidrógeno gris no fuera competitivo y fuera menos problemático desde la perspectiva del derecho comercial, ya que garantiza la igualdad de trato de los productores extranjeros y nacionales y la no discriminación entre los distintos países exportadores. Sin embargo, como este instrumento únicamente se ocupa de las emisiones de carbono, no podría distinguir entre las variedades de hidrógeno basadas en energías renovables y otras menos sostenibles pero con bajas emisiones de carbono (por ejemplo, el hidrógeno que utiliza la captura, utilización y almacenamiento de carbono o el hidrógeno que utiliza energía nuclear).

un mercado principal para el hidrógeno verde y sus derivados también podría incluirse en esta categoría.

- Evaluar la necesidad de una **legislación específica para abordar los proyectos que implican al hidrógeno** (por ejemplo, normas de seguridad, salvaguardias ambientales), esto con el propósito de adoptar sistemas de certificación renovables y de sostenibilidad para la producción de hidrógeno verde. Establecer marcos legales que definan los parámetros de participación de la comunidad local y los beneficios (monetarios o no) de las instalaciones de energía renovable.
- Desde el inicio del proyecto de planificación, **involucrar** a los gobiernos regionales/locales en los lugares donde se planea instalar plantas de hidrógeno verde y promover las asociaciones público-privadas. La promoción fiscal y las incubadoras de empresas deberían desarrollarse con el objetivo de promover la participación de los actores a nivel local en la transición energética. Paralelamente, también se deben explorar alternativas al paradigma de la asociación público-privada, fomentando y facilitando la financiación de proyectos de cooperación energética y evitando la competencia desigual entre las grandes empresas y las pequeñas y medianas empresas.
- Anticipar y prevenir los riesgos ecológicos mediante el establecimiento de **estudios de impacto ambiental obligatorios** en paralelo al desarrollo de estrategias que involucren al hidrógeno.
- **Desarrollar programas para:**
 - Facilitar la transferencia de conocimientos y garantizar la formación y la educación de las personas que buscan empleo, tanto en las pequeñas como en las medianas empresas.
 - Garantizar el acceso a la información y a la educación en general para la rápida adopción de las nuevas tecnologías y la incorporación de esta temática en los programas de educación superior.
 - Profundizar en la I+D sobre el hidrógeno verde en las organizaciones científicas.
 - Incorporar al país exportador en las iniciativas mundiales y en la cooperación internacional en materia de hidrógeno verde.

4.4 Políticas bilaterales

Las alianzas entre los países proveedores y los países compradores, así como entre el sector privado y la sociedad civil, pueden desempeñar un papel importante para reducir el riesgo de la transición al hidrógeno verde para ambas partes: pueden allanar el camino hacia contratos a más largo plazo, incluyendo garantías de precios, apoyo a la inversión (y protección de la inversión), transferencia de tecnología o ayuda financiera directa. Pueden garantizar que los criterios para el hidrógeno comercializado se formulen de manera que se ajusten a las prioridades y capacidades de desarrollo de los países productores y se alineen con sus estrategias nacionales para la transición energética, así como fomentar las normativas sociales y medioambientales.

Reforzar las asociaciones también puede implicar la combinación de asociaciones bilaterales existentes para formar iniciativas “minilaterales” que combinen a diferentes socios, por ejemplo, como una cooperación de Alemania con sus vecinos del Benelux, que ya están estrechamente conectados a través de su infraestructura de gas. La incorporación de más socios permite poner en común los recursos y, al ampliar la cooperación, puede contribuir a aumentar la ambición (transformadora): la Asociación para la Transición Energética Justa entre varios países del G20⁵⁰ y Sudáfrica puede servir de ejemplo en este sentido, y podría aplicarse también a otros países. Asimismo, los instrumentos de apoyo existentes, como la iniciativa alemana H2Global, podrían ampliarse para incluir también a otros países (de la UE) –coordinando y consolidando así la demanda– y utilizar la palanca económica resultante para promover el comercio verde y sostenible.

Los acuerdos bilaterales también presentan inconvenientes. La proliferación de acuerdos bilaterales podría dar lugar a una **proliferación de normas**, reduciendo así la transparencia y creando el riesgo de selección o de “carrera perversa”: si un país considera que las normas propuestas por su socio comercial son demasiado estrictas, el hidrógeno se venderá en otro lugar. Además, la proliferación de normas divergentes

50. Los miembros del G20 son: Alemania, Arabia Saudita, Argentina, Australia, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, Francia, India, Indonesia, Italia, Japón, Reino Unido, República de Corea, México, Rusia, Sudáfrica y Turquía. España también está invitada de forma permanente.



Principales recomendaciones, continuación

crearía problemas en las cadenas de valor integradas a nivel internacional, por ejemplo, si el hidrógeno verde procedente de diferentes países se utiliza para producir acero bajo en carbono, que luego se vende y se comercializa (como bajo en carbono). Si el hidrógeno utilizado en la fabricación de acero tiene diferentes “tonos” de verde, esto significaría que los diferentes lotes de acero producidos tendrían huellas de carbono divergentes, lo que dificultaría aún más su seguimiento, etiquetado y comercialización. Por último, los acuerdos bilaterales podrían conducir a una fragmentación del mercado: las diferentes normas sugerirían precios divergentes para el hidrógeno verde y sus derivados. Los mercados más pequeños incurrirían en una mayor volatilidad de los precios e impedirían la diversificación, de modo que los importadores seguirían dependiendo de los productores que cumplan las normas acordadas, y viceversa.

Las políticas bilaterales pueden incluir:

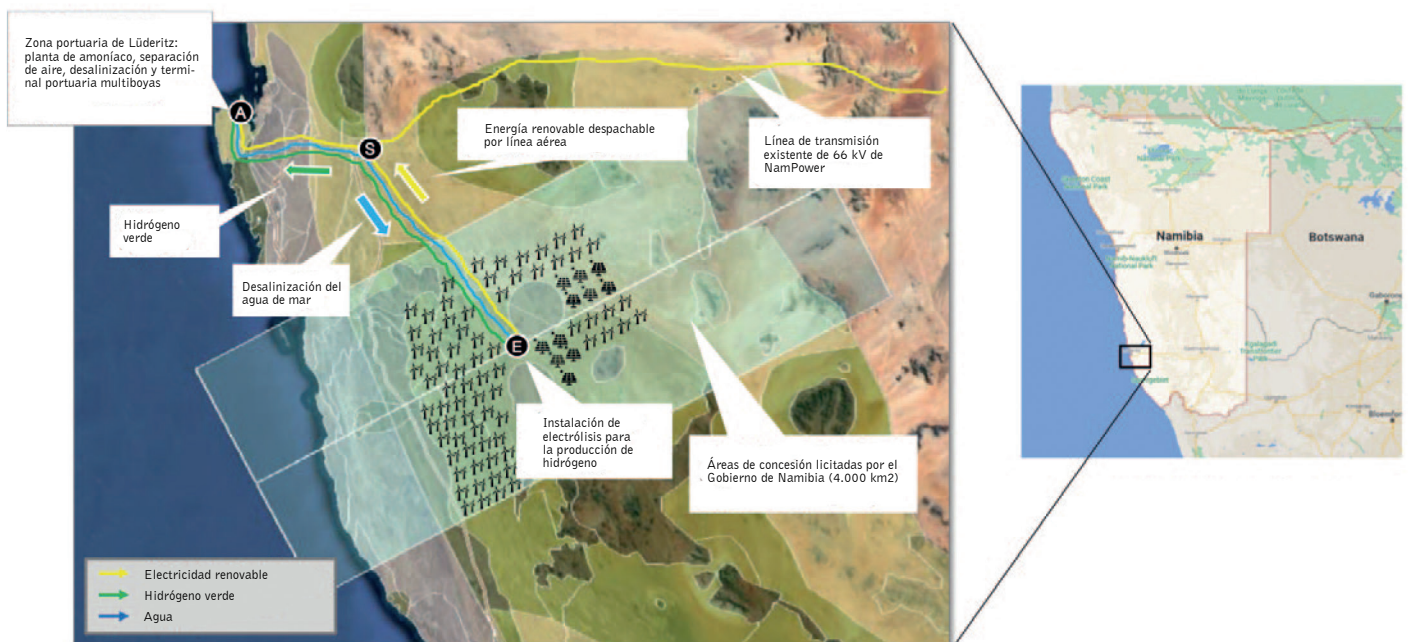
- **Asociaciones energéticas, incluidos los acuerdos contractuales a largo plazo** entre los países proveedores y compradores, como forma de reducir el riesgo de las inversiones para ambas partes, posiblemente con el apoyo de garantías

públicas para los inversores, créditos a la exportación o instrumentos similares.

- **Subvenciones a la inversión/asociaciones público-privadas y empresas públicas estratégicas:** esto incluiría el apoyo público a las inversiones en infraestructura y logística, posiblemente en forma de asociaciones público-privadas o empresas conjuntas, incluyendo organismos de financiación de los países compradores y proveedores, así como acuerdos de riesgo compartido entre inversores/financiadores públicos y privados. Las empresas públicas podrían desempeñar un papel importante en el establecimiento de una infraestructura de hidrógeno verde y respaldar los acuerdos bilaterales con inversiones concretas.

“La cooperación entre países es esencial para garantizar que las normas y los criterios comunes obtengan una amplia aceptación, pero estas normas deben establecerse a un alto nivel para garantizar una verdadera sostenibilidad”.

Figura 7: Ilustración ejemplar de un proyecto de hidrógeno previsto por HYPHEN en Namibia



Hyphen es una empresa namibia de desarrollo de hidrógeno verde, formada específicamente para desarrollar proyectos de hidrógeno verde en Namibia para el suministro internacional, regional y nacional. La superficie total prevista para la producción de hidrógeno es de 25.000 km², de los cuales 4.000 km² ya fueron adjudicados a Hyphen mediante una licitación del gobierno de Namibia.

Fuente: Hyphen Hydrogen Energy (2022).⁵¹

51. Hyphen Hydrogen Energy (2022), First Gigawatt-scale Green Ammonia Project in Namibia, <https://hyphenafrika.com/wp-content/uploads/2022/05/Hyphen-World-Economic-Forum-Presentation-24-May-2022.pdf>.

Principales recomendaciones, continuación

4.5

Plurilateral: ¿Podría una iniciativa plurilateral ayudar a avanzar en el comercio de hidrógeno verde y sostenible?

Una iniciativa plurilateral sobre el hidrógeno verde podría, por ejemplo, hacer que la UE actuara junto con otros países de ideas afines. Los elementos de esta iniciativa podrían incluir un acuerdo conjunto sobre normas ambiciosas para el hidrógeno verde y sostenible, y un sistema conjunto de seguimiento y notificación para este último. También podría incluirse la opción de formar un mercado común con acceso compartido, en el que el hidrógeno –y sus derivados– reconocido como verde en un mercado también sea considerado como tal por los demás miembros del “Club”. Esto significaría que el Club se construiría en torno a un bien común: el acceso al mercado común del hidrógeno verde, el reconocimiento mutuo de las normas y los procedimientos para comprobarlas (certificación del hidrógeno verde), así como los protocolos relacionados (por ejemplo, mecanismo de reclamación, revisión). En el futuro, el Club también podría ampliar sus actividades a la adquisición conjunta o a los mecanismos para coordinar la adquisición de hidrógeno verde y sostenible como forma de aumentar la seguridad del suministro.

4.6

Multilateral: nuevas iniciativas e instituciones para el comercio mundial de hidrógeno verde

La opción del “Club” descrita anteriormente debería ser inclusiva y aspirar a una mayor participación, por lo que podría allanar el camino hacia un acuerdo multilateral. Al mismo tiempo, existen otras vías para llegar a un acuerdo multilateral sobre los parámetros básicos, como un sistema de seguimiento y contabilidad del hidrógeno verde y sostenible y sus productos derivados, así como un acuerdo sobre las normas mundiales para el hidrógeno verde y sostenible. Entre ellas se encuentran:

- Ampliar el mandato de una iniciativa existente y dotarla de los recursos necesarios, por ejemplo, la Asociación Internacional para el Hidrógeno y las Pilas de Combustible en la Economía. Aunque esta iniciativa surge de la órbita del G20, logra una participación relativamente amplia de 21 países y la UE, pero le faltan miembros de algunas regiones importantes del mundo, por ejemplo, Oriente Medio y África (aparte de Sudáfrica).
- Encargar a una organización intergubernamental existente –como IRENA o la AIE– que establezca las normas y la infraestructura para un futuro mercado del hidrógeno verde.
- El marco de un futuro mercado mundial del hidrógeno verde podría establecerse en un acuerdo internacional específico, análogo a los tratados sobre recursos que existen para numerosos productos agrícolas (cacao, aceite de oliva, azúcar, maderas tropicales), o a los grupos de estudio sobre recursos naturales (estaño, cobre), encargados de promover la transparencia de los mercados y proponer normas y procedimientos.

Las medidas específicas podrían consistir en:

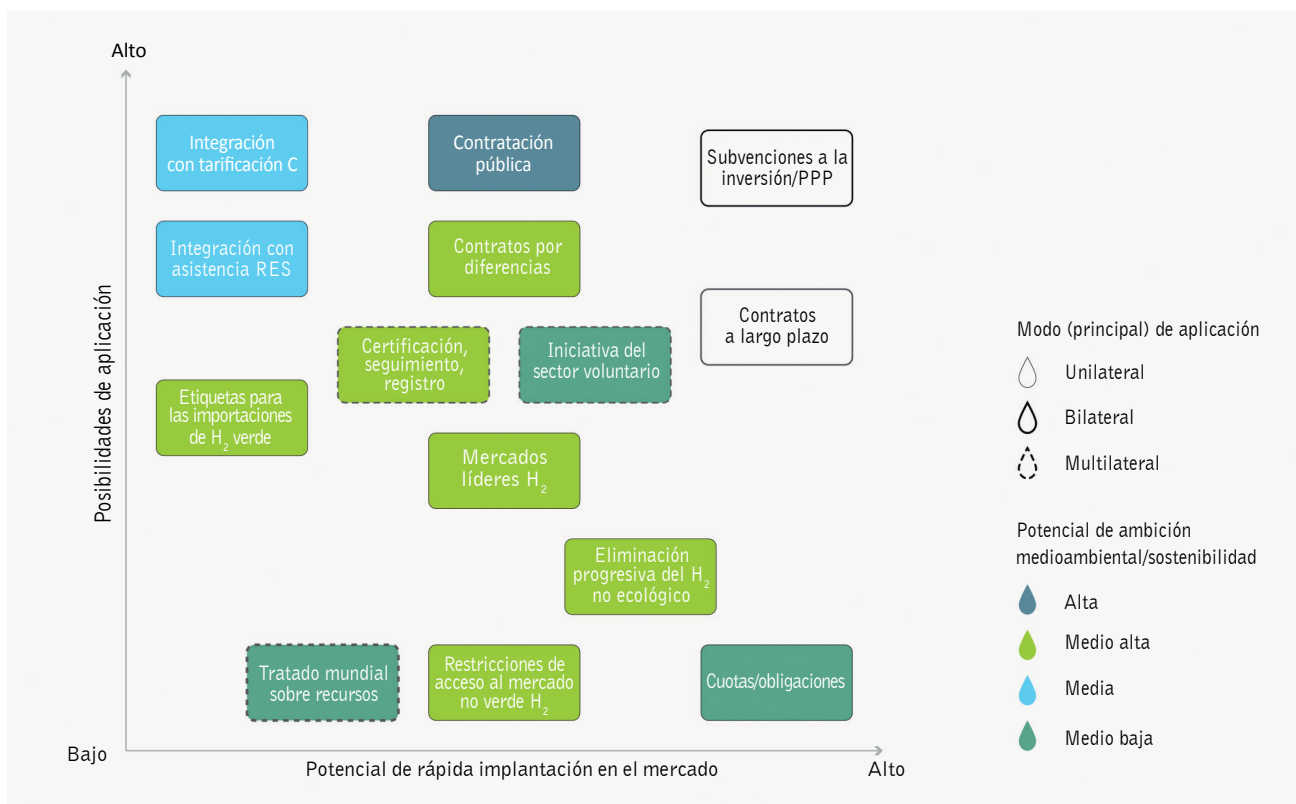
- **Certificación, seguimiento, registro:** sistemas de seguimiento e información para el hidrógeno verde y sostenible y sus derivados (documentados a lo largo de la cadena de valor), por ejemplo en forma de un registro internacional para determinar el origen del hidrógeno y su cumplimiento de las normas aplicables, incluidas las emisiones integradas durante el proceso de producción.
- **Tratado mundial sobre los recursos:** al igual que los acuerdos de recursos existentes para muchas materias primas y recursos comercializados internacionalmente (cobre, estaño, etc.), un tratado mundial de recursos sobre el hidrógeno verde y sostenible podría definir las propiedades y las normas básicas a propósito del hidrógeno verde comercializado y establecer elementos de procedimiento (como la certificación y el seguimiento, el cumplimiento y las sanciones) y designar las instituciones de apoyo y sus funciones.
- **Iniciativa del sector voluntario:** como alternativa –limitada y no vinculante– a un tratado mundial sobre recursos, una iniciativa voluntaria formada por reguladores públicos, empresas privadas y la sociedad civil podría acordar normas para el hidrógeno verde y sostenible. Al igual que otras iniciativas existentes (Principios del Ecuador, Comisión Mundial de Presas), esta iniciativa podría establecer una normativa de facto.



Lo que debería evitarse es un mercado internacional de compensación de carbono para el hidrógeno verde, ya que esto no contribuiría a reducir las emisiones de GEI, sino que las desplazaría de un lugar a otro.

“Un club de países del hidrógeno verde podría ser la vanguardia, estableciendo criterios de mejores prácticas y normativas, beneficiándose mutuamente de un comercio ambiental y socialmente sólido de hidrógeno verde”.

Figura 8: No todos estos instrumentos tienen la misma probabilidad de ser aprobados



Fuente: Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen⁵²

52. Benjamin Görlach, Michael Jakob, y Ramiro de la Vega (2022), *Pathways Towards a Global Market for Green and Sustainable Hydrogen: Need for Action and Policy Options*, <https://www.boell.de/en/green-hydrogen> and <https://www.brot-fuer-die-welt.de/themen/gruener-wasserstoff/>

Una tubería de hidrógeno que ilustra la transformación del sector energético en detrimento de los combustibles fósiles. ©petrmlinak

Anexos



Anexos, continuación

5.1 Resumen de los países

5.1.1. Argentina

Los participantes argentinos en la consulta consideraron que hay dos factores importantes que afectan al futuro del hidrógeno verde: 1) la invasión rusa a Ucrania, que está modificando la demanda y la oferta de energía a nivel mundial, y 2) la situación de la deuda externa argentina, que se está negociando con el Fondo Monetario Internacional. Estos factores crean dudas sobre el futuro de la economía argentina y sobre cómo esta situación podría afectar a las inversiones extranjeras. Existe un creciente interés por el desarrollo del hidrógeno verde en Argentina. Este es visto como una oportunidad tanto para impulsar la transformación energética como para beneficiar la economía, ofreciendo nuevos puestos de trabajo cualificados y oportunidades de capacitación, puesto que las exportaciones de hidrógeno darían lugar a un mayor flujo de ingresos de divisas.

La mayoría de personas consultadas coinciden en que la producción de hidrógeno verde debería, en una primera fase, destinarse a la exportación, siempre que exista un plan claro para un uso doméstico económicamente rentable que también apoye el desarrollo de las economías regionales y sea respetuoso con el medio ambiente. Quienes participan también sostienen que el hidrógeno verde promete alternativas de almacenamiento que refuerzan el desarrollo de las energías renovables intermitentes, al tiempo que permiten mejorar las tecnologías de desalinización y purificación del agua de mar. Los agentes sociales y medioambientales tendrían que participar en el desarrollo de proyectos de hidrógeno desde el principio para evitar y minimizar posibles conflictos o efectos negativos en el futuro; esto también facilitaría la inversión y la transferencia de conocimientos.

Desafortunadamente, ninguna comunidad indígena fue incluida en esta consulta. El proyecto más importante de hidrógeno verde que se está llevando a cabo en la actualidad es el de la provincia de Río Negro, donde se asientan unas 30 comunidades que no han sido parte de ninguna consulta ni del CLPI. Sin embargo, la provincia ya ha aprobado el traspaso de más de 600.000 hectáreas tradicionalmente ocupadas por estas comunidades.⁵³ Según uno de los consultados que

habló de esto con las comunidades indígenas, a diferencia de otros proyectos extractivos, el hidrógeno verde se vende como una oportunidad de transformación socioecológica, por lo que las comunidades indígenas esperan que los proyectos vayan acompañados de estrategias para transformar profundamente el consumo y la producción de energía a escala global, estrategias que deben incluir su participación a lo largo de todo el proceso.

El gobierno argentino aún no tiene una estrategia a propósito del hidrógeno. Sin embargo, existe un documento de 2021, "Hacia una estrategia nacional del hidrógeno 2030",⁵⁴ con aportaciones de varios ministerios, representantes del sector privado, universidades y otros. El documento examina las potencialidades del hidrógeno, la capacidad de los sistemas nacionales para contribuir a su desarrollo y otros factores. Hasta la fecha, no hay información sobre los aspectos relacionados con la sostenibilidad en la estrategia nacional del hidrógeno prevista, salvo los requisitos legales adoptados por las provincias donde se llevará a cabo cada proyecto. En 2020, un grupo de empresas formó un Consorcio de Desarrollo de la Economía del Hidrógeno (H₂ar). En 2006, el Congreso aprobó una Ley de Promoción del Hidrógeno; sin embargo, esta ley nunca se aplicó en su totalidad y es probable que ahora se actualice. Por último, hay tres iniciativas relacionadas con la producción de hidrógeno verde:

- Una empresa australiana pretende invertir 8.400 millones de dólares para producir hidrógeno verde en la provincia de Río Negro. El proyecto está en fase de estudio de prefactibilidad y actualmente presenta un conflicto de uso de tierras con las comunidades indígenas.
- El gobierno provincial de Jujuy impulsa iniciativas para el desarrollo del hidrógeno verde en el parque solar de Cauchari. La inversión para la primera fase sería de 150 millones de dólares. La provincia está preparando la ley correspondiente.
- Una empresa estadounidense anunció en mayo de 2022 una inversión de 500 millones de dólares para producir hidrógeno verde en la provincia de Tierra del Fuego con el objetivo de exportarlo principalmente al mercado asiático y europeo.

53. Río Negro (2022), *Ambientalistas de Río Negro cuestionan el proyecto Hidrógeno Verde*, <https://www.rionegro.com.ar/sociedad/ambientalistas-de-rio-negro-cuestionan-el-proyecto-hidrogeno-verde-2305843/>

54. Presidencia de Argentina (2021), *Hacia una Estrategia Nacional Hidrógeno 2030*, https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/segundo_documento_ces_hidrogeno.pdf

Las personas consultadas ven **oportunidades** en el hidrógeno verde: el país tiene el potencial para competir en el mercado internacional, ya que ofrece puertos de aguas profundas, recursos eólicos y una infraestructura medianamente preparada. Argentina puede utilizar su infraestructura de gas para el transporte de hidrógeno verde, y cuenta con expertos capacitados y empresas de servicios asociadas a esta industria. También existe la oportunidad de desarrollar más mano de obra calificada para mejorar los puestos de trabajo y los salarios. Existe la percepción de que la industria de las energías renovables es moderna e inclusiva y que hay oportunidades para fortalecer las universidades y los centros tecnológicos para el desarrollo de la industria. La aceptación social de estos proyectos se presupone porque la gente asocia al hidrógeno con un “futuro verde”.

También se preguntó a las personas consultadas sobre las principales **amenazas y barreras** para el desarrollo del hidrógeno verde y se identificaron la falta de una política energética nacional y las dificultades para obtener inversiones iniciales, aspectos que consideran estrechamente relacionados. Ambos se basan en la falta de confianza en el país para atraer inversiones, la cultura del incumplimiento de la normativa y la falta de confianza en la dirección de la política energética argentina. Los cambios de gobierno y los consecuentes cambios de visiones en materia energética hacen muy difícil el desarrollo a largo plazo de una industria que necesita certidumbre y estabilidad. También son difíciles las barreras relativas a la falta de flexibilidad del marco regulatorio y de la política energética nacional para adaptarse a un contexto cambiante, así como una industria de combustibles fósiles que busque promover una legislación no sólo para el hidrógeno verde, sino también para el gris y el azul.

Aunque es probable que el hidrógeno verde encuentre una amplia aceptación social, también preocupa la resistencia a la transformación del sistema energético en general, motivada por el temor a la escasez de energía que la transformación podría desencadenar. Si bien la mayoría de las personas consultadas (94%) considera que el hidrógeno verde es una parte viable de la transición energética en Argentina, no ven factible su implementación en el corto o mediano plazo.

El uso de agua dulce para la producción de hidrógeno verde es la preocupación medioambiental más relevante, ya que compite con otros usos del agua dulce. Por ello, las personas consultadas destacaron la importancia de no utilizar

agua para el hidrógeno en zonas con estrés hídrico. Otros problemas que preocupan son, por ejemplo, la tecnología, así como su baja eficiencia; los altos costes de producir el hidrógeno verde con agua desalinizada; y, por último, el desconocimiento de los posibles impactos en el medio ambiente, en función del volumen de hidrógeno verde que se exporte. Por último, se mencionó que, en la actualidad, las economías de varias provincias argentinas dependen de la continuidad de las inversiones en el sector de los combustibles fósiles, lo que explica la resistencia, ya que perciben el hidrógeno verde como una competencia.

5.1.2. Brasil

El hidrógeno verde puede ser el eslabón que falta para la descarbonización de la economía, y su uso podría evitar la emisión de 75 Mt de CO₂ para 2040 en Brasil.⁵⁵ Sin embargo, en la actualidad, el desarrollo del hidrógeno parece dirigirse principalmente a las exportaciones para Europa, y el país publicó recientemente en agosto el programa nacional de hidrógeno de Brasil (que contempla todas las fuentes de hidrógeno).⁵⁶ En el estado de Ceará, hasta mayo de 2022 sólo uno de los memorandos de entendimiento presentaba la perspectiva de contribuir a la transición energética nacional.⁵⁷ Hay objetivos dirigidos al hidrógeno en el plan nacional de renovables y biocombustibles 2018-2022, principalmente para el uso vehicular y estacionario en la generación de energía y la producción de combustible, por ejemplo las redes de I+D en energía del hidrógeno, así también la promoción de estudios sobre el potencial del hidrógeno y el fomento de proyectos de demostración. Lamentablemente, un instituto de investigación vinculado al gobierno recomendó que se estudiaran todas las fuentes de hidrógeno, no sólo el hidrógeno renovable.

55. Estadão (2021), Hidrogênio verde: oportunidade de geração de riqueza e sustentabilidade para o Brasil e o mundo, <https://economia.estadao.com.br/blogs/mckinsey-insights/hidrogenio-verde-opportunidade-de-geracao-de-riqueza-e-sustentabilidade-para-o-brasil-e-o-mundo/>

56. Government of Brazil (2022), *Resolução institui o Programa Nacional do Hidrogênio*, <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/resolucao-institui-o-programa-nacional-do-hidrogenio>

57. EPBR (2022), *As características da normativa estadual do Ceará para produção de hidrogênio verde*, <https://epbr.com.br/as-caracteristicas-da-normativa-estadual-para-producao-de-hidrogenio-verde-do-estado-do-ceara-e-as-diferentes-perspectivas-que-a-impulsionaram/>



Anexos, continuación

El transporte de hidrógeno se enfrenta a una serie de retos técnicos y económicos. Por lo tanto, la exportación de hidrógeno como gas o en forma líquida no es una alternativa viable para Brasil en la actualidad. Para que sea económicamente viable, la mejor alternativa sería la conversión del hidrógeno en productos cuyo transporte a largas distancias tenga soluciones comerciales, como por ejemplo el acero verde, el amoníaco, el metanol, la nafta y los electrocombustibles. Sin embargo, el país tiene varias características que le confieren un inmenso potencial en la producción de hidrógeno verde a bajo coste tanto para uso propio como para la exportación a mercados extranjeros que puedan pagar un recargo verde. Esto podría crear puestos de trabajo en las regiones de producción y, en algunas zonas, ofrecer la posibilidad de desalinizar el agua para las plantas de hidrógeno instaladas en regiones con escasez de agua potable. El noreste, donde se registra la mayor pobreza entre las regiones brasileñas, destaca por su potencial de generación eólica y solar. Estas oportunidades deben ser cuidadosamente planificadas, previendo, por ejemplo, la formación y el entrenamiento necesarios para que la población local pueda ocupar los nuevos puestos de trabajo generados por estos emprendimientos. Además, debe haber un proceso de discusión de los impactos sociales y ambientales de la implementación de estas cadenas productivas, con la participación activa de las comunidades locales desde el propio diseño del proyecto, para que las inversiones traigan impactos positivos para la sociedad brasileña.

El proceso de transición energética en Brasil no sólo debe garantizar la protección climática, sino que también debe contribuir a transformar la forma de producir y consumir para con ello combatir la pobreza energética y el racismo ambiental. Para lograrlo es necesario mejorar significativamente el diálogo entre el gobierno y la sociedad civil. Un ejemplo positivo es una resolución del Consejo Estatal del Medio Ambiente de Ceará que establece los procedimientos, criterios y parámetros aplicables a la concesión de licencias ambientales, incluso para las empresas de producción de hidrógeno verde.⁵⁸ Dicha resolución fue elaborada en consulta con la sociedad civil. La concesión de licencias ambientales no debe debilitarse con el pretexto de que el hidrógeno es verde: debe seguirse el debido proceso.

Se identificaron tres grandes oportunidades potenciales de hidrógeno para Brasil:⁵⁹

58. *Ibid*

59. Heinrich Böll Stiftung (2021), *Desafíos e Oportunidades para o Brasil com o Hidrogênio Verde*, <https://br.boell.org/pt-br/2021/05/21/desafios-e-oportunidades-para-o-brasil-com-o-hidrogenio-verde>

1. Su utilización en la reducción directa del mineral de hierro para producir hierro esponjoso en formato Hierro Briqueteado en Caliente (HBI, por sus siglas en inglés: *Hot Briquetted Iron*) para la exportación o para la producción nacional de acero de bajo carbono.
2. Su uso en combinación con CO2 renovable para la producción de nafta verde como sustituto sintético en la producción de productos petroquímicos y combustibles.
3. Su uso para la producción de amoníaco verde como insumo en la producción de productos químicos y fertilizantes o como portador de energía para la exportación y uso en el transporte marítimo.

Una de las amenazas identificadas para el desarrollo del hidrógeno es el intento de las empresas de producir un “lavado verde” de su marca, presentando anuncios “sostenibles” sin promover realmente un cambio estructural en sus actividades: en muchos casos siguen emitiendo cantidades sustanciales de GEI junto a posibles violaciones de los derechos humanos.

El coste del hidrógeno verde es una barrera importante. Además, la producción descentralizada o el consumo *in situ* permiten eludir los costes de transporte en la expansión inicial del hidrógeno. Para aumentar su competitividad, el avance de la tarificación del carbono es una herramienta crucial. Además, la producción descentralizada o el consumo *in situ* permiten eludir los costes de transporte en la expansión inicial del hidrógeno.

Existen otros riesgos si no se gestionan adecuadamente: la cuestión de la demanda de agua; el uso de la tierra; la minería insostenible adicional debido a la demanda de placas de mineral para capturar el hidrógeno. Podrían surgir otros problemas en las instalaciones de energías renovables a gran escala, como ya ha ocurrido con las instalaciones de energía eólica a gran escala, por ejemplo, la especulación inmobiliaria; el impacto sobre la pesca artesanal y la biota marina (en los parques eólicos marinos; la frecuente privatización de los espacios de uso común —lugares que están prohibidos para las personas debido a la zona de exclusión de las turbinas eólicas—; la limitación o el impedimento del acceso al comercio, la economía y los medios de vida locales). Para aliviar el problema del uso del agua, podría iniciarse la desalinización a gran escala del agua de mar, que tiene un coste potencial relativamente bajo (unos 0,02 dólares/kg de hidrógeno verde)⁶⁰. Es necesario evitar los impactos ambientales en la biodiversidad marina o en la pesca arte-

60. IEA (2019)

sanal, así como los impactos en la agricultura, la artesanía y el turismo local, por ejemplo, a través de las instalaciones eólicas marinas a gran escala. En Ceará, para los 17 nuevos proyectos de energía solar fotovoltaica concentrada que se están analizando en mayo de 2022, la supresión total de la vegetación podría ser de casi 11.000 hectáreas de vegetación autóctona única.⁶¹ Las instalaciones eólicas en tierra en el mismo estado han dado lugar a denuncias relativas a violaciones de los derechos de las poblaciones costeras y a la degradación y supresión de los ecosistemas de dunas y manglares. Los conflictos socioambientales se originaron debido a la falta de compensación, mitigación y diálogo, así como a la falta de consultas previas con las comunidades locales. Al mismo tiempo, las empresas agrícolas –ya perjudiciales– podrían continuar con sus insostenibles exportaciones de soja aprovechando el amoníaco producido con hidrógeno. Por último, pero no por ello menos importante, las grandes instalaciones de energía renovable sólo tienen que presentar un Informe Ambiental Simplificado (RAS, por sus siglas en inglés): esta “flexibilidad” de los estudios de impacto y los procedimientos de concesión de licencias ambientales para las empresas de hidrógeno es un problema que aparece a menudo de forma antidemocrática, ignorando las perspectivas de las comunidades afectadas.

Recomendaciones específicas:

Evitar los impactos socioambientales es crucial: las instalaciones eólicas (más de 7.000 aerogeneradores, potencia total: 21,5 gigavatios, GW) desde 2011 han causado daños socioambientales, con grandes proyectos que no respetan derechos como el derecho a la existencia, al desplazamiento, a la salud, al agua, etc. Las instalaciones más pequeñas pueden reducir los impactos ambientales, estimular la generación descentralizada y evitar la supresión de la vegetación. También son importantes las revisiones independientes de las prácticas de las empresas para cumplir con los requisitos de transparencia, y la integridad en los acuerdos de cesión de tierras.

61. EPBR (2022), *As características da normativa estadual do Ceará para produção de hidrogênio verde*, <https://epbr.com.br/as-caracteristicas-da-normativa-estadual-para-producao-de-hidrogenio-verde-do-estado-do-ceara-e-as-diferentes-perspectivas-que-a-impulsionaram/>

Fortalecimiento de las agencias reguladoras: en los últimos años se ha producido una disminución de los recursos y de la capacidad de las agencias y consejos medioambientales a nivel federal para promover las inspecciones y los controles. Es necesario reinvertir y adaptar los recursos humanos y financieros necesarios para que las agencias tengan autonomía y capacidad para realizar dichas inspecciones y controles.

5.1.3. Chile

Para esta consulta nacional, 62 personas participaron en total a través de 5 talleres desarrollados con organizaciones de la sociedad civil e instituciones públicas y privadas, y a través de 15 entrevistas a nivel nacional y subnacional.

Las personas participantes de la sociedad civil declararon tener poco conocimiento sobre el desarrollo del hidrógeno verde en Chile. Se mostraron preocupados por los posibles impactos socioambientales y por la falta de participación de la sociedad civil en la planeación y ejecución de los proyectos concernientes al hidrógeno verde. Transversalmente, los participantes destacaron las condiciones ventajosas y las oportunidades de Chile para la producción de hidrógeno verde, el importante papel del hidrógeno verde en el proceso de descarbonización del país y, al tratarse de una nueva industria, la oportunidad de “hacer las cosas bien”, por ejemplo, no replicando industrias extractivas ni creando nuevas zonas de sacrificio.

Resumen de las recomendaciones más relevantes:

La ordenación del territorio y las normas medioambientales (especialmente en lo que respecta al uso del agua, la desalinización y la biodiversidad) deben ser una parte esencial del diseño y las evaluaciones de esta nueva industria. Para ello se recomienda utilizar los instrumentos nacionales actuales, como la Evaluación Ambiental Estratégica y los Planes Regionales de Ordenación Territorial.

Los actores de la sociedad civil local y los residentes deben participar en la planeación, la ejecución y el seguimiento de los proyectos, incluido el Consentimiento Libre, Previo e Informado (FPIC, por sus siglas en inglés), según los acuerdos internacionales, cuando se trate de tierras indígenas.



Anexos, continuación

Para hacer frente a estos retos, es necesario un modelo de gobernanza sólido que contribuya a la soberanía energética y mejore la calidad de vida de los chilenos. De lo contrario, el hidrógeno verde podría tener características similares a las actividades extractivas existentes (energía y minería), con consecuencias sociales y ambientales negativas y una posible resistencia social a futuros proyectos. El desarrollo del hidrógeno verde podría ser una oportunidad para abandonar los paradigmas de la era de la energía fósil y encabezar un proceso de transición energética justa y democrática. Sin embargo, para que esto ocurra, el marco institucional y el modelo de gobernanza deben involucrar efectivamente a los distintos actores y contribuir a una soberanía energética que mejore la calidad de vida de los chilenos. La actual matriz energética chilena está concentrada en su posesión: con un 63,1% en sólo cuatro empresas, que contaminan y ofrecen poca participación ciudadana.

Chile publicó su Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde en 2020⁶² con grandes objetivos. Para 2025, Chile será el primer país de América Latina en realizar inversiones en hidrógeno verde. Para 2030 producirá el hidrógeno verde más barato del planeta (<1,50 dólares/kg), será líder mundial en exportaciones de hidrógeno verde y sus derivados (2.500 millones de dólares al año), y en hidrógeno verde por electrólisis con 25 GW. La estrategia también es relevante para la contribución nacional de Chile: el hidrógeno verde se utilizará para el transporte de carga, aplicaciones energéticas en la industria minera y ofrecerá usos térmicos a través de tuberías. Sin embargo, la estrategia no es satisfactoria: no hay propuestas concretas sobre el papel del Estado, ni sobre el cambio que el hidrógeno verde podría suponer a nivel nacional, ni sobre la planificación territorial. En cambio, se centra en satisfacer las necesidades del Norte Global. Tampoco hubo una participación efectiva de la sociedad civil o de las comunidades locales en la formulación de la estrategia. Además, la estrategia no aborda adecuadamente las normas de trabajo decente y diálogo social efectivo formuladas por la OIT.⁶³ Por último, la gobernanza

propuesta carece de equilibrio entre el gobierno y el sector privado, por un lado, y la sociedad civil que, por otra parte, desempeña un papel marginal. El nuevo gobierno (de Gabriel Boric) no ha declarado si se modificará la estrategia. A 31 de mayo de 2022, hay un proyecto piloto en construcción para la producción de metanol y gasolina a partir de CO₂ e hidrógeno, con una inversión de 38 millones de dólares. Un proyecto ha sido aprobado, pero aún no está en construcción (30 millones de dólares), y finalmente otro proyecto está en proceso de calificación medioambiental.

La Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde presenta esta tecnología como una industria moderna y limpia, incorporando las mejores prácticas y el diálogo, y afirma que los proyectos generarán polos locales de inversión, innovación y actividad económica. Para ello, propone la definición de normas que garanticen la seguridad de los operadores, los usuarios, el público, el medio ambiente, los bienes y la infraestructura, y la creación de mecanismos transparentes de participación entre las comunidades y los proyectos. Sin embargo, no ha habido ningún avance en este frente, salvo los documentos de orientación para la presentación de proyectos de hidrógeno verde al Servicio de Evaluación Ambiental⁶⁴ y a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles⁶⁵, que tienen como objetivo facilitar los trámites burocráticos de las inversiones más que asegurar los estándares ambientales y sociales.

El hidrógeno verde se ha posicionado como una gran oportunidad para lograr la seguridad energética, acelerar el proceso de descarbonización y la transición energética, y cumplir con los compromisos climáticos internacionales. Podría generar un sector económico comparable en magnitud con la minería, con la consiguiente generación de empleo, nuevas oportunidades de I+D y divisas. Los participantes de la sociedad civil destacan que aún se está a tiempo de tomar medidas para prevenir los posibles impactos negativos de la producción de hidrógeno verde a gran escala, aplicando principios de sostenibilidad, o implementando comisiones pú-

62. Ministry of Energy, Government of Chile (2020), *National Green Hydrogen Strategy*, https://energia.gob.cl/sites/default/files/national_green_hydrogen_strategy_-_chile.pdf

63. International Labour Office (2018), *Just Transition towards Environmentally Sustainable Economies and Societies for All*, https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_dialogue/---ac-trav/documents/publication/wcms_647648.pdf

64. Sustentable S.A. (2022), SEA presenta nuevos documentos técnicos referidos a los Objetos de Protección e Hidrógeno Verde, <https://www.sustentable.cl/sea-presenta-nuevos-documentos-tecnicos-referidos-a-los-objetos-de-proteccion-e-hidrogeno-verde/>

65. Ministerio de Energía, Gobierno de Chile (2021), *Chile Ministerio de Energía y SEC publican la primera guía para apoyar solicitudes de proyectos de hidrógeno verde*, <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/ministerio-de-energia-y-sec-publican-la-primer-guia-para-apoyar-solicitudes-de-proyectos-de-hidrogeno-verde>

Anexos, continuación

blico-comunitarias que puedan seguir de cerca la instalación de la industria y participar activamente en los procesos de planificación. También se mencionaron como medidas relevantes la necesidad de un nuevo y adecuado marco de gobernanza y la creación de nuevos nodos de investigación a nivel local.

Los proyectos de hidrógeno renovable requerirán grandes instalaciones de energía renovable que conllevan impactos ambientales como lo son el cambio en el uso del suelo, el ruido, el uso potencialmente elevado de agua y la utilización de recursos. Científicos chilenos han advertido del riesgo de posibles impactos en la Región de Magallanes, donde se verían afectadas entre 40 y 60 especies de aves migratorias, dado el importante número de aerogeneradores que se requerirán para el desarrollo de los proyectos de hidrógeno verde.⁶⁶ Producir el 13% del hidrógeno verde del mundo con 126 GW de energía eólica implicaría un sacrificio territorial (social y medioambiental) de una superficie estimada de 13.000 kilómetros cuadrados. Para poner esta cifra en perspectiva, en todo Chile hay una capacidad total de energía eólica instalada de unos 4 GW.⁶⁷

Además, podrían haber implicaciones socioeconómicas para la población local que sufre de pobreza energética, incluyendo la falta de acceso y la dificultad para pagar las facturas de electricidad. También se teme que aumente la precariedad laboral y hay escepticismo sobre los beneficios reales que recibirán las regiones con el desarrollo de esta industria.

Dadas las características naturales de las moléculas de hidrógeno, las normas de seguridad para su almacenamiento (presión) y transporte (tuberías) son mucho más exigentes que las de otros combustibles. Esto hace que el almacenamiento y el transporte de hidrógeno sean bastante costosos en relación con el gas natural.

66. Codexverde (2022), *Impactos de los aerogeneradores sobre la biodiversidad en Magallanes*, <https://codexverde.cl/impactos-de-los-aerogeneradores-sobre-la-biodiversidad-en-magallanes/>; Codexverde (2022), *Alertan sobre posibles impactos ambientales del hidrógeno verde en Magallanes*, <https://codexverde.cl/alertan-sobre-posibles-impactos-ambientales-del-hidrogeno-verde-en-magallanes/>; Heraldo V. Norambuena et al. (2022), *Green Energy Threatens Chile's Magallanes Region*, *Science*, 376(6591), 361–62, <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abo4129>

67. Ladera Sur (2022), *Científicos, profesionales y activistas envían carta abierta al Presidente por Hidrógeno Verde en Magallanes*, <https://laderasur.com/articulo/cientificos-profesionales-y-activistas-envian-carta-abierta-al-presidente-por-hidrogeno-verde-en-magallanes/>

5.1.4. Colombia

Aunque Colombia cuenta con una matriz energética basada principalmente en energía hidroeléctrica, la economía colombiana ha dependido en gran medida de la extracción de petróleo, gas y carbón para la exportación –los hidrocarburos aportaron el 3,3% del Producto Interno Bruto (PIB) en 2021 y representaron el 40% del total de exportaciones. En el marco del Acuerdo de París, Colombia acordó reducir el 51% de sus emisiones para 2030. Una de sus estrategias es convertirse en uno de los principales productores y exportadores mundiales de hidrógeno, tanto verde como azul. El Ministerio de Minas y Energía está apostando por la producción de hidrógeno verde y por impulsarlo como uno de los principales productos de exportación.

Los principales usos previstos del hidrógeno son el transporte, la generación de energía y la industria. En cuanto a la transición energética, la Ley 1665 de 2013⁶⁸ introduce elementos sobre fuentes alternativas (Art. 3): energías renovables consideradas limpias por sus menores niveles de contaminación en comparación con los combustibles fósiles. Paralelamente, existe la Ley 1715 de 2014⁶⁹, que promueve el desarrollo y uso de “Fuentes de Energía No Convencionales”, principalmente renovables, y la Ley 2099 de 2021⁷⁰ por la cual se dictan, entre otras, disposiciones relacionadas con la transición energética y la dinamización del mercado energético. Esta última es la más relevante en cuanto al hidrógeno se refiere, ya que clasifica las actividades relacionadas o complementarias a este vector energético –como su almacenamiento, manejo, operación y mantenimiento– como de utilidad pública e interés social.

Dos ministerios son responsables de la gobernanza del hidrógeno: el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, encargado de las sanciones administrativas medioambientales y de la determinación de las normas ambientales; y el Ministerio de Minas y Energía, encargado de la política y la aplicación de la Ley 2099. Sin embargo, la regulación debilita las normas ambientales existentes y

68. Gobierno de Colombia (2013), *Ley 1665 de 2013*, http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1665_2013.html

69. Gobierno de Colombia (2014), *Ley 1715 de 2014*, https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=57353

70. Gobierno de Colombia (2021), *Ley 2099 de 2021*, <https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%202099%20DEL%2010%20DE%20JULIO%20DE%202021.pdf#search=ley%202099>



Anexos, continuación

los compromisos internacionales, ya que excluye el Diagnóstico Ambiental de Alternativas para las empresas que implementen instalaciones de hidrógeno.

La ley contempla diferentes incentivos fiscales para el suministro, como la exención del impuesto sobre el valor añadido, la eliminación de los aranceles para la importación de tecnología, la reducción del 50% de la carga del impuesto sobre la renta y la depreciación acelerada. Un elemento preocupante de esta normativa es que permite que el Estado declare de utilidad pública la producción de hidrógeno, lo que podría significar la posibilidad de imponer proyectos sin una fuerte participación de las organizaciones de la sociedad civil en los temas ambientales así como en los procesos de toma de decisiones que puedan impactar su territorio, o permitir la expropiación administrativa de bienes naturales, como la tierra, lo que se sumaría a los factores que han desencadenado conflictos armados internos en Colombia en el pasado. Una de las amenazas es para el pueblo wayú de La Guajira, en Colombia, que podría presenciar el desarrollo de las plantas de hidrógeno en su territorio sin poder contribuir al desarrollo del proyecto de forma significativa ni beneficiarse de las plantas. El cambio de uso de la tierra, asociado a los proyectos de hidrógeno, podría afectar el derecho a la alimentación, ya que supone la pérdida de los medios de vida y de subsistencia de las comunidades wayú y constituiría, por tanto, una violación de los derechos humanos.

Las consultas a la sociedad civil sobre el uso del hidrógeno revelan su amplio interés por la transición energética, aunque el conocimiento y el seguimiento de los estudios actuales se limitan a la energía eólica y solar, dadas las barreras y asimetrías de poder con las que la sociedad civil puede acceder a la información oficial y a los planes de las empresas de este sector. Por ello aún encontramos un profundo desconocimiento y bastante preocupación por parte de las organizaciones de derechos humanos y medioambientales, que reclaman medidas de difusión de información pública sobre el hidrógeno.

Esto, unido al hecho de que esta fuente de energía es relativamente nueva, dificulta la comprensión de las dimensiones de los retos que se plantean en cuanto al control de la energía producida, su destino y los beneficios para las comunidades en cuyos territorios se utilizarán las tecnologías necesarias para la transformación del hidrógeno basado en

combustibles fósiles, como el gas. Evidentemente, no debería desarrollarse el hidrógeno fósil, ya que ello podría prolongar la explotación perjudicial de los combustibles fósiles. Pero la precaución en el contexto de posibles conflictos territoriales y la garantía de los beneficios para las comunidades locales también resultan justificadas cuando las autoridades colombianas puedan desarrollar proyectos piloto de hidrógeno verde.

Actualmente existe una contradicción entre el discurso de descarbonización de la matriz energética nacional con energías renovables, la realidad de que la mayoría de los proyectos e iniciativas se dirigen a la producción de hidrógeno con potencial de exportación, y el posicionamiento del país como principal exportador de hidrógeno en América Latina.⁷¹ Esto plantea interrogantes sobre el acceso a la energía y los impactos en los derechos humanos, especialmente cuando la tendencia regional parece apuntar al alto costo de utilizar el hidrógeno verde como fuente de energía secundaria en el contexto de una transición energética justa.

5.1.5. Marruecos

Marruecos adoptó en 2021 una hoja de ruta para el hidrógeno verde destinada al uso doméstico y a la exportación. El trabajo realizado por el socio nacional se centró en el uso del agua –con un estudio que estimaba la cantidad de agua necesaria para alcanzar los objetivos que el gobierno se plantea a propósito del hidrógeno verde– y la consulta a las partes interesadas en 40 entrevistas y tres talleres para validar los resultados del estudio. El uso del agua para diversos fines se incrementa cada año (casi el 90% se destina a la agricultura, desafortunadamente con pérdidas de agua cercanas al 40%), mientras que la disponibilidad de agua por persona ha disminuido un 75% en los últimos 60 años, en un clima como el de Marruecos que se caracteriza por ser, en general, muy seco. Ya hay varias instalaciones de desalinización que aportan el 1% del suministro de agua, y se están pro-

71. Presidencia de Colombia (2022), *Colombia se proyecta como el principal exportador de hidrógeno en América Latina y referente mundial en transición energética*, <https://idm.presidencia.gov.co/prensa/Paginas/Colombia-se-proyecta-como-el-principal-exportador-de-hidrogeno-en-America-L-220606.aspx#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20Ruta,necesarios%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de>.

yectando otras para superar la escasez de agua y para la producción de energía. También hay proyectos y planes para purificar el agua usada para un uso adicional. El objetivo es que el agua desalinizada y depurada represente el 15% del consumo total de agua en 2035. Marruecos cuenta con una estrategia hídrica para proteger sus recursos hídricos y contribuir a la transición energética, así como con una ambiciosa estrategia energética (desde 2009) que da prioridad a las fuentes de energía renovables, en particular la eólica y la solar. El objetivo es que el 64% de las energías renovables para 2030 se consiga principalmente mediante alianzas público-privadas. Paralelamente, existe un ambicioso objetivo climático: una reducción incondicional de los gases de efecto invernadero del 18,3% y una reducción condicional (dependiendo de la ayuda exterior) del 45,5% para 2030, en comparación con el escenario de referencia.

En cuanto al hidrógeno, hasta ahora hay pocas instalaciones de producción que sirvan a diferentes clientes industriales. A finales de 2021, Marruecos contaba con una capacidad instalada de 10.968 megavatios, con una producción de 40 teravatios-hora, de los cuales el 12,6% procede de parques eólicos y el 4,5% de la producción solar. Actualmente, Marruecos es un gran importador de amoníaco: el 10% del comercio mundial acaba aquí, principalmente para la industria de los fertilizantes. Marruecos también gasta importantes fondos para importar productos petrolíferos del extranjero. Esta presión sobre las reservas de divisas se ha agravado este año debido a las condiciones internacionales.

Marruecos lanzó en 2021 una hoja de ruta para el hidrógeno verde, con el objetivo de que la producción comience en 2028, contando con su vasto potencial de energías renovables. La hoja de ruta abarca los siguientes pilares principales:

- Tecnología, I+D e integración de la industria local para satisfacer las necesidades de toda la cadena de valor del hidrógeno verde.
- Producción de hidrógeno verde.
- Necesidades de inversión y preparación de infraestructuras para la industria del hidrógeno verde.
- Condiciones de almacenamiento, exportación y uso del hidrógeno verde.

En 2020 se firmó un acuerdo de cooperación con Alemania, y los puertos de Hamburgo y Tanger Med están cooperando para facilitar el transporte de hidrógeno.

Inicialmente Marruecos producirá amoníaco verde para las industrias locales, principalmente para producir fertilizantes, y para la exportación. También se espera que Marruecos pueda empezar a exportar hidrógeno verde como combustible licuado o gas en 2030. Se prevé que el uso del hidrógeno verde en el sector eléctrico comience en 2035 como medio de almacenamiento, en el sector del transporte a partir de 2037, y en el sector residencial a partir de 2047. Marruecos aspira a captar hasta el 4% del mercado internacional del hidrógeno verde. La consecución de los objetivos de la estrategia nacional de hidrógeno verde requiere una inversión acumulada de 90.000 millones de dirhams para 2030 y de 760.000 millones para 2050. Los principales objetivos son: reducir la dependencia de la importación de energía, que representa casi el 10% del PIB de Marruecos; crear valor añadido local, con efectos positivos sobre el empleo (creando 12.000 puestos de trabajo directos y 60.000 indirectos para el año 2040) y sobre el conjunto de la economía nacional; descarbonizar la economía nacional (reducción de 6 Mt de CO2 equivalente para el año 2040). Las infraestructuras existentes del sistema energético, como los gasoductos, también pueden servir a la economía del hidrógeno.

Para lograr la estrategia nacional de hidrógeno verde serían necesarios 7,7 millones de metros cúbicos (m³) de agua para 2030 (37,35 millones de m³ para 2040 y 85,25 millones de m³ para 2050), y se prevé que una mayor parte del hidrógeno se destine a la exportación. La demanda actual de agua en Marruecos asciende a 16.280 millones de m³ al año. La demanda de hidrógeno que se añadirá a partir de 2030 representa sólo el 0,44% de la demanda de agua potable, industrial y turística (3,27% para 2050). La capacidad de almacenamiento de agua prevista por Marruecos para 2027 –27.300 millones de m³– significaría que el volumen de agua necesario para la producción de hidrógeno verde en 2050 representaría sólo el 0,3% de la capacidad de almacenamiento establecida en 2027. Además, Marruecos tiene previsto desarrollar nuevos proyectos de desalinización de agua de mar con una capacidad anual acumulada de 510 millones de m³ para 2027. Por lo tanto, el volumen de agua necesario para la producción de hidrógeno verde en 2050 representaría sólo el 16,7% de la capacidad de desalinización de agua en 2027. Sin embargo, los criterios de sostenibilidad y las opiniones de las organizaciones de la sociedad civil y de todas las partes interesadas deberían integrarse en la toma de decisiones relacionadas con el uso de los recursos hídricos para la producción de hidrógeno verde. El hidrógeno verde



Anexos, continuación

es mejor que la producción de combustibles fósiles, que requiere mucha agua: por cada barril de petróleo producido se necesitan entre seis y ocho barriles de agua, y hasta doce barriles en el caso de los “métodos de recuperación mejorada de petróleo y gas”, como el fracking.

Las partes interesadas consultadas insistieron en la necesidad de evaluar cuidadosamente las implantaciones del proyecto de hidrógeno verde en relación con su uso del agua y de recurrir principalmente a la desalinización para el uso del agua (con salvaguardias medioambientales en relación con la salmuera), así como a tecnologías modernas para reducir el uso del agua de forma significativa; la necesidad de garantizar que la producción de hidrógeno cree puestos de trabajo locales; y de promover servicios e infraestructuras sociales sostenibles y eficientes. La producción de hidrógeno verde debería ayudar a descarbonizar la economía nacional, garantizar la seguridad energética del país, contribuir a la inclusión territorial del país y reforzar la resiliencia social, económica y medioambiental de las regiones marroquíes. La reducción de la producción de combustibles fósiles podría liberar considerables recursos hídricos para las alternativas relacionadas con el hidrógeno verde.

Marruecos necesita establecer un marco regulador para el sector del hidrógeno verde, que garantice un sistema de garantía de origen y cubra el suministro de agua para las plantas electrolíticas. El suministro de agua para la electrólisis debe estar claramente regulado, organizado, controlado y certificado para no crear impactos negativos en el entorno medioambiental o socioeconómico de las regiones muy áridas del país. Marruecos también debe imponer un manejo

riguroso de los recursos hídricos que esté basado en las realidades locales e invertir en la mejora de las infraestructuras hídricas locales para reducir las pérdidas y la evaporación. La implicación –desde el comienzo– de todas las partes interesadas en los proyectos de hidrógeno verde se mencionó como un factor clave, no sólo en relación con el manejo del agua, sino también en relación con la demanda de terrenos para proyectos de energías renovables, las infraestructuras relacionadas (carreteras, redes eléctricas), la financiación, la adquisición de tecnología y la creación de oportunidades.

5.1.6. Sudáfrica

Sudáfrica ya tiene una economía del hidrógeno (gris), que es pequeña y está vinculada a las cadenas de valor de los combustibles fósiles. Sasol produce entre el 2% y el 3% del suministro mundial de hidrógeno utilizando instalaciones de gasificación de carbón.

Combinado con carbono, este hidrógeno se utiliza para producir combustibles líquidos sintéticos mediante el proceso Fischer-Tropsch. El hidrógeno también es utilizado por PetroSA en su refinería GTL.

La expansión de este sector ha sido de interés para el gobierno sudafricano al menos desde 2007, cuando puso en marcha *Hydrogen South Africa*: el programa de I+D de 15 años de duración sobre las aplicaciones del hidrógeno. En aquel momento, el interés principal no era la descarbonización o el hidrógeno verde en concreto, sino la identificación

Tabla 1: Análisis comparativo de las necesidades de agua para la producción de combustible

COMBUSTIBLE	ESTIMACIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO
Extracción convencional de petróleo	0,29 l/kWh	0,13 l/kWh	0,5 l/kWh
Refinación de petróleo	0,14 l/kWh	0,09 l/kWh	0,21 l/kWh
Gas natural convencional	0,014 l/kWh	0,004 l/kWh	0,097 l/kWh
Gas de esquisto	0,06 l/kWh	0,01 l/kWh	0,79 l/kWh
Hidrógeno verde	0,55 l/kWh	0,27 l/kWh	0,7 l/kWh

y explotación de oportunidades de beneficio relacionadas con los metales del grupo del platino (PGM).

En respuesta al creciente interés internacional por el hidrógeno verde, en 2021 el Departamento de Ciencia e Innovación dirigió un proceso consultivo con múltiples partes interesadas que dio lugar a la hoja de ruta de la Sociedad del Hidrógeno de Sudáfrica.

Este documento marco de alto nivel identifica la expansión de la economía local del hidrógeno como un aspecto fundamental para alcanzar el objetivo nacional de “un crecimiento económico justo e inclusivo con cero emisiones de carbono para el bienestar de la sociedad en 2050” a través de resultados que incluyen:

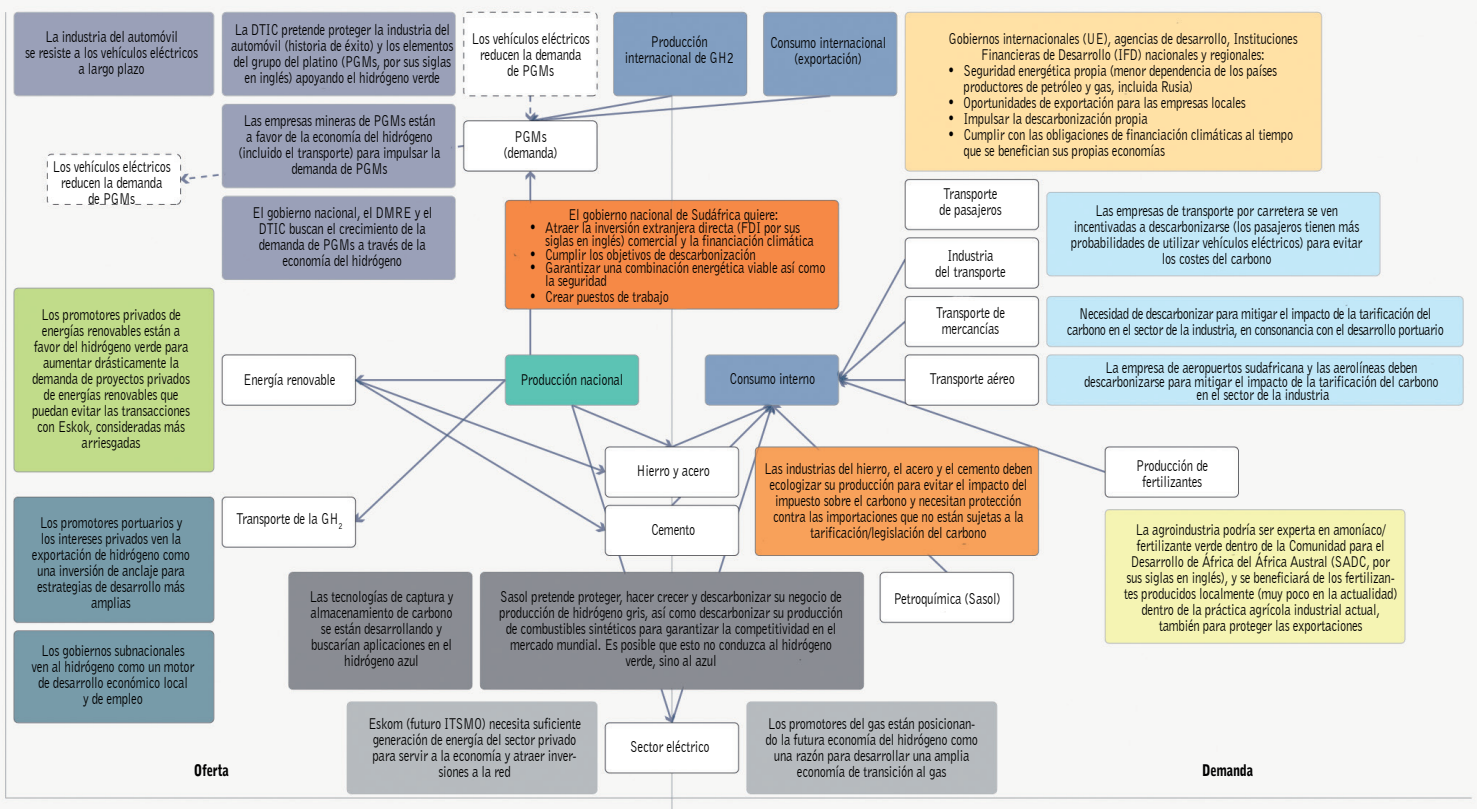
- Descarbonización del transporte pesado

- Descarbonización de las industrias intensivas en energía (cemento, acero, minería, refinerías)
- Sector energético (electricidad) mejorado y ecológico (redes principales y micro redes)
- Centro de excelencia en la fabricación de productos de hidrógeno y componentes de pilas de combustible (producción local de componentes de la cadena de valor del hidrógeno)
- Creación de un mercado de exportación para el hidrógeno verde sudafricano
- Aumento del papel del hidrógeno –gris, azul, turquesa y verde– en el sistema energético sudafricano en consonancia con el avance hacia una economía neta cero

Aunque Sudáfrica ha adoptado recientemente un amplio “Marco de Transición Justa”, los planes de hidrógeno existentes son de alto nivel y más aspiracionales que prácticos.

Figura 9: Mapa de intereses de los actores influyentes en la emergente economía del hidrógeno sudafricana

Mapa de interés del hidrógeno verde





Anexos, continuación

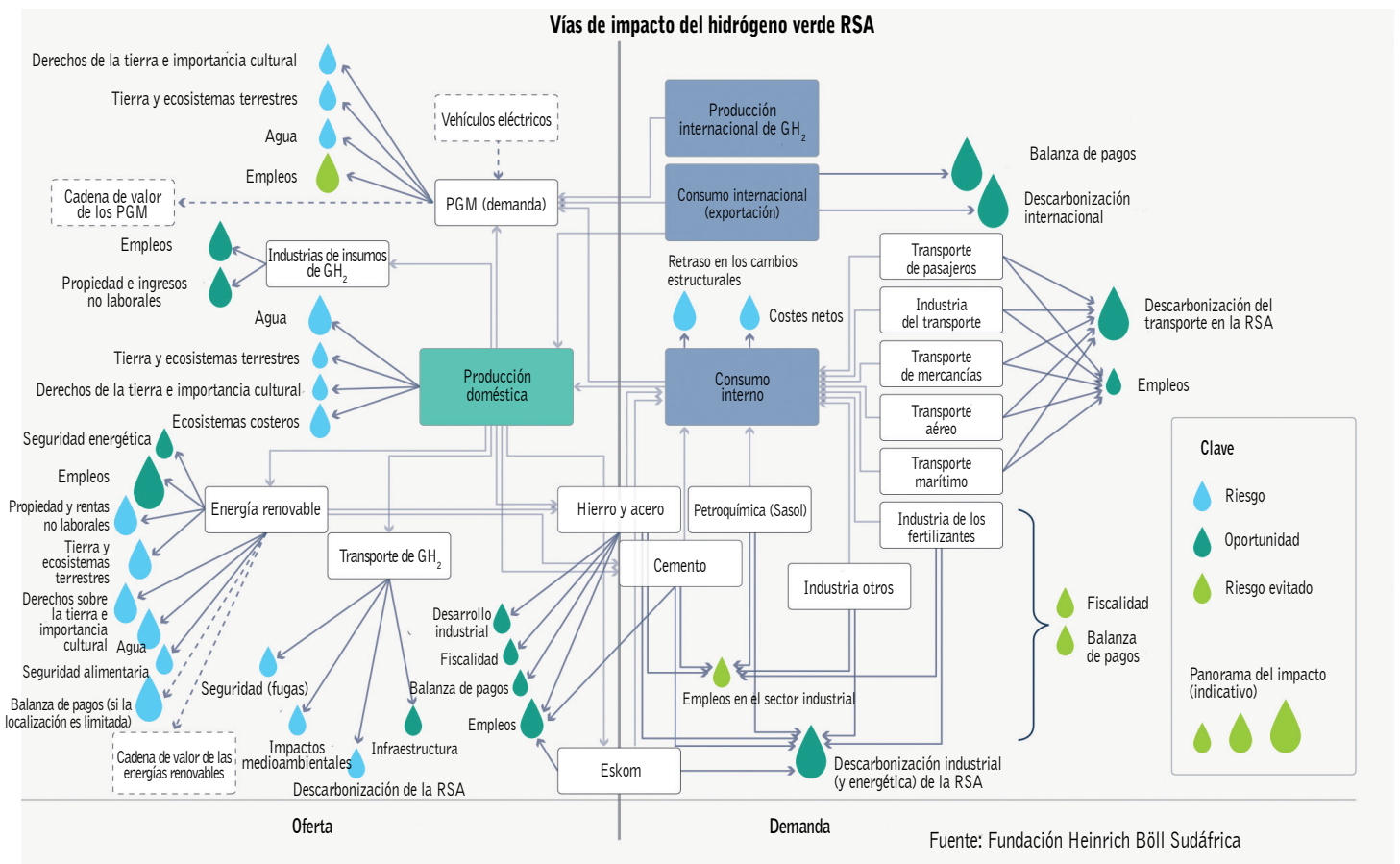
Aunque el proceso del Departamento de Ciencia e Innovación era multipartito, la sociedad civil en general, y las organizaciones comunitarias en particular, quedaron excluidas. Esto puede atribuirse, al menos en parte, a las complejidades técnicas y económicas del tema. La Fundación Heinrich Böll y el proyecto Brot für die Welt en Sudáfrica han invertido significativamente en preparar el terreno para las consultas informadas que están en curso.

Las medidas incluyen:

- La elaboración de un documento sobre la situación del hidrógeno verde en Sudáfrica, que incluya un análisis de los actores y las repercusiones en toda la cadena de valor

- La elaboración de material educativo popular sobre el hidrógeno verde que pueda utilizarse en las comunidades de primera línea
- La organización de talleres con los grupos afectados –comunidades de primera línea y miembros de los sindicatos– para compartir información sobre el hidrógeno verde y planes específicos para diversos sectores y ubicaciones geográficas.

Figura 10: Vías de impacto del hidrógeno verde en Sudáfrica (borrador)



La tabla que figura a continuación resume los riesgos identificados a través del análisis encargado y las preocupaciones que surgieron en los debates de la comunidad o de la sociedad civil en primera línea. Hay que tener en cuenta que, dado que el compromiso sigue desarrollándose, el material que se presenta a continuación no es exhaustivo ni representativo.

Tabla 2: Riesgos y preocupaciones identificados

IMPACTO	DESCRIPCIÓN
Retrasos en la descarbonización	Si la vía de descarbonización del hidrógeno en Sudáfrica se plantea sobre un aumento inicial de la producción de hidrógeno (gris o azul), y la ecologización se concibe en un momento posterior, la descarbonización podría de hecho retrasarse. Esto no es necesariamente así y depende de cómo se desplieguen las políticas, las normativas y los incentivos. Sin embargo, esto constituye una gran preocupación para los grupos ecologistas, que ven cómo grandes contaminadores, como Sasol, utilizan esto como una forma de hacer pasar por debajo de la mesa ciertas prácticas para continuar y ampliar la producción de hidrógeno gris. Además, existe una gran preocupación por los impactos de las fugas de hidrógeno en los GEI, esto como consecuencia de la prolongación de la vida de los gases de metano.
Financiación climática	A Sudáfrica se le asignará una financiación climática finita con tasas favorables. Destinar estos fondos para apoyar la viabilidad de proyectos de hidrógeno verde significaría que no se utilizarían en otras prioridades urgentes de transición justa.
Agua	Sudáfrica es un país con escasez de agua y grandes retos en materia de gobernanza hídrica. El agua debe asignarse equitativamente para uso residencial así como para apoyar actividades económicas en línea con las prioridades sostenibles nacionales y locales. En muchas comunidades que acogerían proyectos de hidrógeno verde, el acceso al agua ya está gravemente restringido.
Ecosistemas costeros	La eliminación de los vertidos de salmuera de las plantas desalinizadoras suscitó gran preocupación. El vertido de salmuera podría dañar considerablemente los ecosistemas oceánicos, con consecuencias devastadoras para aquellos modos de subsistencia basados en el océano. Cuando se prevé que los proyectos de hidrógeno verde también desbloquearían inversiones en infraestructuras portuarias, preocupa el impacto que puedan tener estos grandes desarrollos.
Territorio	Las comunidades empobrecidas suelen padecer una gran inseguridad territorial debido al legado del apartheid, la lentitud de los programas de reforma agraria y las estructuras tradicionales de gobierno. La gran cantidad de tierra necesaria para la producción de hidrógeno verde podría exacerbar estas inseguridades. Al igual que ocurre con los ecosistemas costeros, esto podría repercutir negativamente en la seguridad alimentaria.
Sobrecarga de las infraestructuras disponibles	En los casos en que la infraestructura existente sea necesaria para apoyar el desarrollo del hidrógeno (por ejemplo, si se utiliza la red de transmisión eléctrica o las carreteras para el transporte de hidrógeno), esto puede suponer una carga adicional para el ya envejecido y deteriorado sistema de infraestructura de Sudáfrica, a menos que se acelere el mantenimiento adecuado.
Gobernanza y regulación	Incluso cuando existe una regulación adecuada, las instituciones gubernamentales –sobre todo a nivel local– carecen de la capacidad necesaria para supervisar y hacer cumplir las normativas. Además, no está claro si las prioridades locales –como la seguridad alimentaria o la pobreza energética– se compensarán con la creación de ingresos, o cómo se hará, dados los fallos en la gobernanza, la transparencia y la rendición de cuentas. La competencia entre distintos municipios o provincias para atraer inversiones en hidrógeno verde podría tener efectos perversos en los controles medioambientales y sociales.
Conservación y salvaguardia de la biodiversidad	Los acontecimientos internacionales sugieren que la demanda internacional de hidrógeno verde en el Norte Global puede dar lugar a inversiones en los países en desarrollo que socaven las protecciones medioambientales locales (como las inversiones en áreas protegidas).
Seguridad	Los trabajadores han expresado su preocupación por la seguridad del hidrógeno.
Empleos	La experiencia de las comunidades que acogen minas –o energías renovables– es que los residentes locales no suelen beneficiarse significativamente de los empleos, que son precarios o requieren habilidades y conocimientos especializados.
Impactos sociales	La inmigración de solicitantes de empleo, así como los conflictos intracomunitarios relacionados con los permisos de uso de la tierra podrían desestabilizar a las comunidades.
Retraso en el cambio de sistemas	El uso de hidrógeno verde podría permitir a las sociedades retrasar cambios sistémicos más difíciles. Por ejemplo: ecologizar la producción de fertilizantes sintéticos podría retrasar la transición a la agricultura agroecológica. Exportar hidrógeno verde al Norte Global podría permitir la continuación de estilos de vida insostenibles en lugar de medidas para reducir el consumo y aumentar la eficiencia.



Anexos, continuación

Tabla 3: Beneficios potenciales para Sudáfrica

IMPACTO	DESCRIPCIÓN
Descarbonización de los sectores "difíciles de eliminar"	El hidrógeno verde puede descarbonizar por completo el sector petroquímico y químico, que actualmente genera el 13% de las emisiones del país. En concreto, es clave para descarbonizar el sector de los combustibles sintéticos a base de carbón, que representa el 90% de las emisiones del sector petroquímico y químico.
Generación de energía verde	La producción de hidrógeno verde podría formar parte de un conjunto holístico de tecnologías que permitan equilibrar adecuadamente un sistema energético basado en energías renovables (utilizando el hidrógeno como vector energético así como para el almacenamiento de energía).
Industrialización	Sudáfrica puede tener una ventaja competitiva significativa en el desarrollo de una economía del hidrógeno verde debido a su potencial de generación de energía renovable y a los recursos teóricamente disponibles (como el suelo) para construir esta infraestructura.
Beneficios para los sectores relacionados	La materialización de la economía del hidrógeno puede apoyar e incrementar otras industrias, como se muestra en los impactos anteriormente mencionados (en energías renovables, así como en industrias difíciles de abandonar).
Inversión en mantenimiento y nuevas infraestructuras	La inversión en hidrógeno verde puede incentivar y posibilitar la inversión en infraestructuras locales, tanto cuando sea necesario aumentar las redes existentes como cuando los nuevos proyectos de infraestructuras requieran inversiones locales de anclaje para hacerlos financieramente viables. Esto se aplicaría en el caso del desarrollo de nuevos puertos en Cabo Norte, observando con cautela las complejidades y los posibles impactos negativos de este desarrollo.
Ingresos fiscales	El aumento de la producción industrial incrementaría la generación de ingresos fiscales. La hoja de ruta de la Sociedad del Hidrógeno sugiere que la Iniciativa Platinum Valley podría añadir entre 3.900 y 8.800 millones de dólares al PIB de Sudáfrica (incluidas las contribuciones indirectas) para el año 2050.
Balanza comercial	El aumento de las exportaciones repercutiría positivamente en la balanza comercial sudafricana. Por ejemplo, 1 Mt de acero verde podría reportar unos ingresos por exportación similares a los de 5 Mt de mineral de hierro o 7 Mt de carbón.
Creación de empleos	Según IRENA: "identificar las oportunidades de crecimiento económico y de creación de empleo. Como parte de una estrategia, los formuladores de políticas deben evaluar el valor que el sector del hidrógeno añadiría a la economía y su efecto en las industrias asociadas, cuantificando el número de puestos de trabajo generados en la fabricación de equipos, la construcción y el funcionamiento, e indirectamente en la cadena de suministro y las industrias de apoyo. (...) Además, la mano de obra local tiene que ser capaz de desempeñar los nuevos trabajos que se crearán en estas actividades, e incluso en la regulación de la industria. Por ello, los países necesitarán programas de educación y formación que garanticen la adecuación entre las cualificaciones necesarias y las actualmente disponibles."
Colaboración	Colaboración en el despliegue de soluciones relacionadas con el hidrógeno (por ejemplo, mejora de la red de gas en una agrupación de países) permite compartir riesgos, lecciones aprendidas y mejores prácticas, lo que se traduce en menores costos.

5.1.7. Túnez

En Túnez, se está elaborando una estrategia para el desarrollo del hidrógeno verde, cuya finalización está prevista para 2023. La estrategia parece tener como principal prioridad las exportaciones hacia Europa en lugar de la producción nacional, a pesar de que Túnez depende en un 97% del gas argelino para su producción de electricidad⁷² y de que la transición energética está estancada. Actualmente, sólo el 3% de la electricidad se produce utilizando energías renovables, el 95% se produce a partir del gas natural. La nueva estrategia se está desarrollando sin ninguna participación de la sociedad civil, científicos independientes o mecanismos que garanticen beneficios y salvaguardias para las comunidades locales.

Con sus abundantes recursos solares y eólicos y sus ambiciosos objetivos climáticos –el 35%⁷³ de su energía incorporaría energías renovables para 2030 y neutralidad de carbono para 2050–, el país quiere acelerar la implementación de energías renovables en su territorio y posicionarse en el mercado del hidrógeno verde. Los objetivos en materia de energías renovables también pretenden reducir la dependencia de los combustibles fósiles e incrementar la seguridad energética. Sin embargo, la estrategia del hidrógeno no parece tener en cuenta hasta ahora el imperativo climático ni los objetivos nacionales en materia de energías renovables.

En diciembre de 2020, Túnez firmó un acuerdo de cooperación con Alemania para desarrollar hidrógeno verde. Alemania aporta 31 millones de euros⁷⁴: 6 millones para desarrollar una estrategia de hidrógeno verde y 25 millones para la creación de un proyecto piloto. Las leyes tunecinas vigentes sobre energías renovables se complementarán con elementos sobre el hidrógeno verde para hacer de Túnez un país atractivo para los inversores. El Gobierno ve en este mercado un importante elemento de ganancia de divisas, pero no tiene en cuenta los posibles aspectos sociales o medioambientales, perpetuando el actual modelo extractivo de materias primas e ignorando las necesidades nacionales de transición energética.

72. Énergies Média (2022), Tunisia: Natural Gas Purchase Deals with Algeria Have Increase by 25% between February 2021 and February 2022, April 4.

73. Así lo informó Belhassen Chiboub, Director General de Transición Energética del Ministerio de Energía y Minas, durante un seminario celebrado el 28 de junio de 2022 en el Hotel Sheraton.

74. Bulletin d'information (2022), *Partenariat de recherches sur l'hydrogène vert avec l'Allemagne*, <https://bulletin-usf.info/partenariat-de-recherches-sur-lhydrogene-vert-avec-lallemagne/>

Además, las estrategias de los Ministerios de Energía y Medio Ambiente no parecen complementarse entre sí. La Estrategia 2050 de Neutralidad de Carbono⁷⁵ y Resiliencia Climática del Ministerio de Medio Ambiente menciona al hidrógeno verde como un recurso bajo en carbono en algunos casos. Sin embargo, el plan de reforma del sector energético, así como el plan solar tunecino (2018), no mencionan al hidrógeno verde, sino únicamente el establecimiento de una unidad de producción de hidrógeno gris.⁷⁶ El Ministerio de Medio Ambiente no participa hasta ahora en los debates sobre la estrategia nacional de hidrógeno verde.

Dado que la industria es el segundo mayor consumidor de energía final en Túnez –un tercio del consumo total, la mayor parte importada–, sería una buena idea proporcionarle hidrógeno verde. Sin embargo, sólo el Groupe Chimique Tunisien participa en los debates sobre el hidrógeno verde para amoníaco. El resto de sectores industriales –como la construcción, el mayor consumidor de energía de Túnez, o el sector cementero, que genera la mayor parte de las emisiones de CO₂ del país– no parecen estar entre los beneficiarios del proyecto. Tampoco lo está el sector de los transportes, muy intensivo en energía, al cual el Ministerio de Medio Ambiente pretende descarbonizar para el año 2030 (estrategia de neutralidad en carbono y resiliencia al cambio climático para 2050).

El transporte de hidrógeno podría plantear retos adicionales. Almacenar y transportar hidrógeno, un gas especialmente volátil, es un desafío. Se prevén dos opciones: por gasoducto o por transporte marítimo. Túnez dispone de una importante red de gas que le permite abastecerse y abastecer a Europa –vía Italia– de gas natural argelino. Una parte de la red de gas es un gasoducto submarino para llegar a la costa italiana. En cuanto al hidrógeno, la idea es re-

75. HEAT GmbH et al. (2022), *Stratégie de neutralité carbone et de résilience au changement climatique à l'horizon 2050*, http://www.environnement.gov.tn/images/fichiers/info_climat/SNBCRCC.pdf

76. Chokri Aslouj (2022), Comment développer une économie verte ou comment l'hydrogène vert pourrait être l'élixir des maux de la Tunisie ? Le problème de l'énergie [¿Cómo desarrollar una economía verde o cómo el hidrógeno verde podría ser la panacea para la situación de Túnez? La cuestión energética], *Leaders*, January 28, <https://www.leaders.com.tn/article/32912-comment-developer-une-economie-verte-ou-comment-l-hydrogene-vert-pourrait-etre-l-elixir-des-maux-de-la-tunisie-le-probleme-de-l-energie>



Anexos, continuación

forzar la red existente para inyectar un cierto porcentaje de hidrógeno verde en forma gaseosa. Con el tiempo, podrían instalarse gasoductos dedicados al hidrógeno. De acuerdo con algunos observadores, las empresas de transporte de gas han impulsado la agenda del hidrógeno para exigir más infraestructuras de gas cuando es evidente que las redes actuales son suficientes y que es más probable que una mayor expansión serviría, más bien, para mantener la infraestructura de combustibles fósiles. Otra opción es el transporte mediante camiones cisterna dedicados a transportar gas en forma líquida. Para ser transportado en forma líquida, el hidrógeno necesita tanques criogénicos que lo mantengan a -253°C , lo que requiere una cantidad considerable de energía –bastante costosa, por demás– y una infraestructura pesada. Si el hidrógeno ecológico se transporta en barco, seguramente será en forma de amoníaco.

Los riesgos sociales y ecológicos de una infraestructura de hidrógeno significativa sólo se han examinado brevemente en un estudio preliminar realizado por la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ). En la actualidad no está previsto realizar estudios de impacto que acompañen a la estrategia nacional del hidrógeno, sino que sólo se prevén una vez que los proyectos estén en marcha, bajo el supuesto de que el hidrógeno verde es intrínsecamente positivo para el medio ambiente. Existen riesgos de conflictos por el uso del suelo, habida cuenta de la gran superficie que se necesitará para producir hidrógeno verde. El marco actual tiende a favorecer las inversiones extranjeras en zonas marginales, explotando los recursos de la tierra sin una compensación adecuada para las comunidades locales⁷⁷. Un problema adicional se deriva del importante consumo de agua necesario para la producción de hidrógeno. Túnez es uno de los países más secos de la cuenca mediterránea. Por ello, la desalinización se plantea como la solución para la producción a gran escala de hidrógeno verde. La desalinización puede ser una técnica contaminante, consumidora de energía y

77. Un ejemplo: en Borj Essalhi, pueblo pesquero del norte de Túnez, los ciudadanos llevan más de 10 años luchando para obtener una indemnización, tras la instalación en sus tierras del primer parque eólico tunecino en la década de 2000. Parte de las tierras en las que se instalaron los aerogeneradores pertenecían a los aldeanos, que las utilizaban con fines agrícolas. Para el proyecto eólico, esas tierras fueron arrebatadas por la fuerza y ahora son propiedad del Estado. El acaparamiento de tierras ha agravado la marginación y la pobreza de las poblaciones afectadas, alimentando los conflictos y empujándolas a la migración.

costosa. Un litro de agua desalinizada requiere dos litros de agua de mar.⁷⁸ El residuo líquido de este proceso –la salmuera– contiene una concentración muy elevada de sal y se vierte diariamente en mares y océanos. Mezclada con productos químicos destinados a evitar el ensuciamiento de los sistemas, la salmuera es tóxica y provoca una grave contaminación de los ecosistemas marinos y un aumento de la temperatura del agua.

Los ecosistemas marinos están acostumbrados a una concentración de unos 30 gramos de sal por litro, mientras que la concentración de salmuera puede aumentar a más de 100 gramos de sal por litro. Si estos vertidos se prolongan durante décadas, los efectos son nefastos y los daños a la biodiversidad podrían ser irreversibles. Las técnicas de dilución y difusión de la salmuera pueden reducir este riesgo, pero no hay ninguna garantía de que se respeten. Sería extremadamente importante estudiar en detalle la cantidad de agua que se necesita desalinizar y la cantidad de salmuera que se produce –y que por consiguiente resulta expuesta– junto con los residuos químicos de difícil registro por área costera para evaluar la viabilidad y la rentabilidad económica de mayores inversiones en la producción de hidrógeno verde en Túnez.

Otro peligro podría constituirlo la continuación de un modelo económico extractivo basado en la sobreexplotación de los recursos naturales destinados a la exportación hacia los mercados mundiales. Con la exportación de hidrógeno como prioridad para el gobierno, se ignoran las necesidades energéticas del país, los costes sociales y medioambientales, y la deuda financiera que podría representar la realización de estos proyectos. Así pues, debido a la perpetuación de la explotación antidemocrática de los recursos que ello implica, debería evitarse la privatización, contrariamente al camino emprendido actualmente por Túnez. Basando sus criterios de selección en la experiencia y los recursos financieros disponibles, el gobierno tunecino recurre sobre todo a empresas extranjeras que ya han desarrollado proyectos a gran escala en otros lugares.⁷⁹ Además, la liberalización del sector de las energías reno-

78. Jim Robbins (2019), *As Water Scarcity Increases, Desalination Plants Are on the Rise*, *Yale Environment 360*, June 11, <https://e360.yale.edu/features/as-water-scarcity-increases-desalination-plants-are-on-the-rise>

79. Chafik Ben Rouine and Flavie Roche (2022), "Renewable" Energy in Tunisia: An Unjust Transition, March 31, <https://longreads.tni.org/renewable-energy-in-tunisia>

vables acentuará la retirada del Estado tunecino en beneficio de los inversores extranjeros y no de las comunidades locales y de la seguridad energética nacional⁸⁰. Un mejor modelo sería que las cooperativas energéticas construyeran capacidad local renovable que sirviera a las comunidades locales y vendieran el excedente a la red nacional. Una producción equitativa de hidrógeno verde requeriría, por tanto, que los objetivos de descarbonización de los países exportadores, en paralelo con las necesidades de sus poblaciones, fueran el punto de partida de una estrategia sostenible⁸¹. Es fundamental que se establezcan mecanismos de transparencia y garantías para las poblaciones afectadas a largo plazo.

5.2

Lecturas complementarias

1. Heinrich Böll Foundation Hydrogen: <https://www.boell.de/en/green-hydrogen>
2. Bread for the World Hydrogen: <https://www.brot-fuer-diewelt.de/themen/gruener-wasserstoff/>
3. Vías hacia un mercado mundial del hidrógeno ecológico y sostenible: <https://www.boell.de/en/green-hydrogen>
4. Potencial técnico y retos del hidrógeno renovable: cuestiones en el Sur Global: <https://www.boell.de/en/green-hydrogen>
5. Declaración conjunta de las ONG al G7 sobre el hidrógeno: https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/energiewende/energiewende_g7_wasserstoff_forderungen.pdf
6. Pacto del G7 sobre el hidrógeno: <https://www.rechargenews.com/energytransition/g7-unveils-contriversal-hydrogen-action-pact-totackle-climate-crisis-and-russian-gas-reliance/2-1-1228275>
7. Perspectivas de la sociedad civil sobre la producción de hidrógeno verde y productos Power-to-X en África: <https://www.powershiftafrica.org/storage/publications/Green%20Hydrogen%20Position%20Paper.pdf>
8. GH2 - Iniciativa de normativas sobre hidrógeno liderada por la industria: <https://gh2.org/article/industry-leaders-welcome-launch-globalgreen-hydrogen-standard>
9. Recomendaciones para la certificación de la Coalición IRENA para la Acción: https://coalition.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_Green_Hydrogen_Certification_Brief_2022.pdf
10. Hidrógeno: potenciales y perspectivas: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Sep/IRENA_Hydrogen_2019.pdf
11. Riesgos de las fugas de hidrógeno para el clima: consecuencias para el calentamiento global de la sustitución del gas natural por hidrógeno en los sectores energéticos domésticos de las futuras economías bajas en carbono del Reino Unido y EE.UU. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921023247>
12. Documento sobre grandes instalaciones de energía renovable y pastoreo: <https://www.boell.de/en/2022/05/18/pastoralism-and-largescale-renewable-energy-and-green-hydrogen-projects>
13. Materiales de educación popular sobre el hidrógeno verde: <https://www.boell.de/en/2022/08/15/green-hydrogen-hype-or-beacon-hope>
14. Hidrógeno y biomasa: por qué la biomasa es una materia prima contraproducente para el hidrógeno: <https://www.biofuelwatch.org.uk/2022/hydrogen-biomass-briefing/>
15. Explicación - qué es el hidrógeno - Blog en alemán <https://www.brotfuer-die-welt.de/blog/2022-was-ist-eigentlich-wasserstoff/>

80. Ibid. heinrich

81. Sven Morgen et al. (2022), Fair, Green Hydrogen?, Rosa-Luxemburg-Stiftung, <https://www.rosalux.de/en/publication/id/46412/fair-green-hydrogen>



Cuadro 5

¿Cómo se produce el hidrógeno verde?

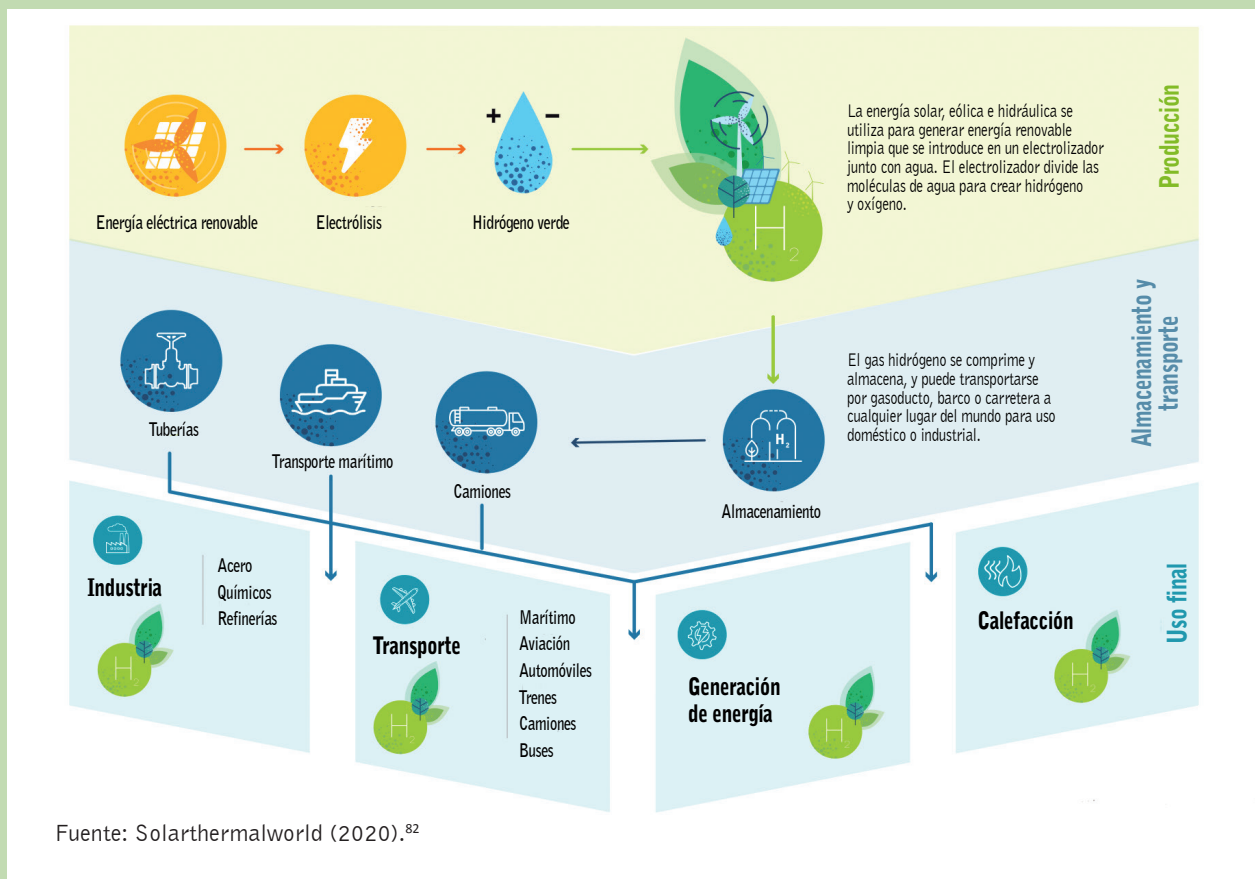
Coloquialmente, hablamos de hidrógeno pero nos referimos a la molécula de hidrógeno, que consta de dos átomos de hidrógeno, es decir, hidrógeno molecular. Este gas no se encuentra en la naturaleza, pero puede sintetizarse a partir de diversos materiales. Es importante comprender que el hidrógeno no es una fuente de energía en sí misma, como el sol y el viento, sino un vector energético, un medio de almacenamiento y un material que alimenta procesos.

La producción de hidrógeno verde se lleva a cabo mediante electrólisis. Los electrolizadores separan el agua

en hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2). El hidrógeno producido puede almacenarse en estado gaseoso o líquido. Para producir hidrógeno "verde" sin emisiones es fundamental que la energía utilizada proceda de fuentes renovables.

Aparte de las aplicaciones industriales específicas, el hidrógeno verde puede desempeñar un papel importante en la consecución del objetivo climático de París. Para ello, es fundamental comprender la diferencia entre el hidrógeno verde y el fósil. Al final del proceso de producción, la molécula de hidrógeno es siempre la misma, pero el factor decisivo es el método de producción.

Figura 11: ¿Cómo se produce el hidrógeno verde?



82. Solarthermalworld (2020), Green Hydrogen and the Associations' Point of View, <https://solarthermalworld.org/news/green-hydrogen-and-associations-point-view/>

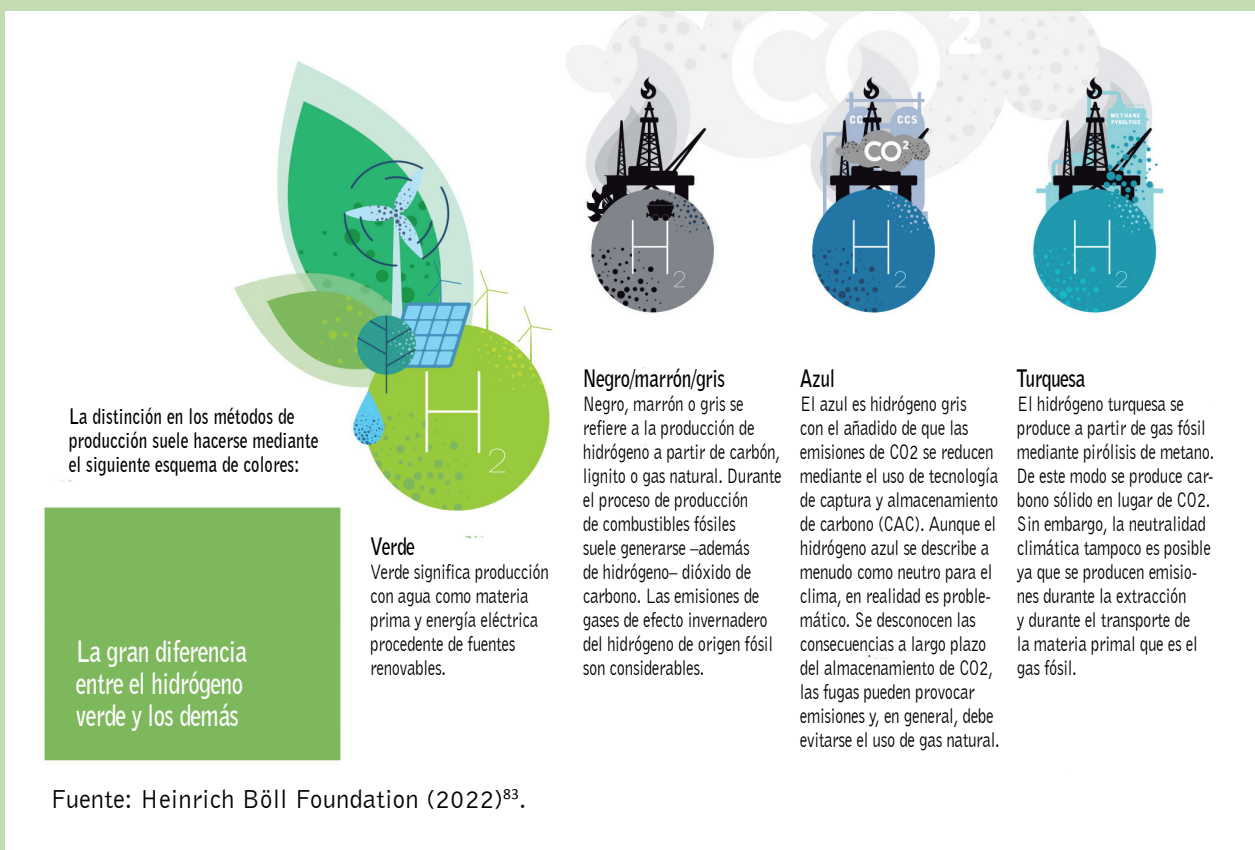
Cuadro 5

¿Cómo se produce el hidrógeno verde? y cuáles son los “colores” del hidrógeno

Es útil tener en cuenta este espectro de colores para diferenciar entre verde y no verde. Dado que todos los demás hidrógenos de color dependen del uso de materias primas fósiles, únicamente el hidrógeno verde puede considerarse como una de las opciones disponibles en el camino hacia una transición justa y un futuro libre de fósiles. Incluso con una producción relativamente libre de emisiones, los hidró-

genos no verdes perpetúan la demanda de materias primas fósiles. De este modo, apuntalan la industria con elevadas emisiones de CO₂, que es la que más contribuye al cambio climático. Por lo tanto, este documento se enfoca exclusivamente en el hidrógeno renovable como única tecnología respetuosa con el clima, excluyendo la biomasa mencionada anteriormente.

Figura 12: La gran diferencia entre el hidrógeno verde y los demás



83. Heinrich Böll Foundation and Brot für die Welt (2022), Green Hydrogen – Hype or Beacon of Hope? https://www.boell.de/sites/default/files/2022-08/green_hydrogen_-_hype_or_beacon_of_hope.pdf



“Rechazamos el uso de hidrógeno basado en combustibles fósiles debido a que continúa la extracción nociva de fósiles y a las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas como, por ejemplo, el metano en el caso del hidrógeno “azul” o “turquesa”. También nos oponemos al hidrógeno nuclear, en vista de las arriesgadas prácticas nucleares. Igualmente, el hidrógeno procedente de la bioenergía no reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y tiene un impacto muy elevado en el uso del suelo, por lo que no es una fuente adecuada de hidrógeno. Todos estos tipos de hidrógeno no son compatibles con un futuro seguro y compatible con 1,5 °C y, por lo tanto, deberían excluirse de las políticas que fomentan la producción y el uso de hidrógeno.”



“La crisis climática no se evitará sin una rápida expansión de la industria de las energías renovables. Sin embargo, un futuro de carbono cero neto puede y debe ir de la mano con el desarrollo sostenible, la reducción de la pobreza y reducir la desigualdad (...). Un enfoque limitado en el rendimiento a corto plazo de inversiones independientemente del daño a las personas y el medio ambiente ha llevado a empresas de combustibles fósiles a perder legitimidad y licencia social para operar. Si lo mismo sucede con las empresas de energías renovables, solo ralentizará nuestra expansión hacia un futuro de carbono neto cero. Por eso necesitamos energía limpia que respete los derechos humanos. Una transición que es rápida, pero también justa”.

Mary Robinson, Climate Justice (2020)
