

Energía para un futuro neutro desde el punto de vista climático

15 datos sobre el hidrógeno

böll
DATOS

 **HEINRICH BÖLL STIFTUNG**

Contenido

Prefacio	
1. ¿Qué es el hidrógeno?	6
2. ¿Por qué todo el mundo habla del hidrógeno?	8
3. ¿Qué tan ecológico es el hidrógeno?	10
4. ¿Por qué es controvertido el hidrógeno azul?	12
5. ¿Qué son los electrolizadores?	14
6. ¿Qué papel desempeña el hidrógeno en la industria climáticamente neutra?	16
7. ¿Qué papel desempeña el hidrógeno en el sistema eléctrico?.....	18
8. ¿El hidrógeno puede mejorar la huella climática del transporte? ...	20
9. ¿El hidrógeno puede mejorar la huella climática de la calefacción?....	22
10. ¿Cómo se transporta el hidrógeno?	24
11. ¿Cuánto hidrógeno se necesita en Alemania?	26
12. ¿Qué hay que tener en cuenta con respecto a las importaciones de hidrógeno?	28
13. ¿Qué oportunidades ofrece la producción de hidrógeno a los países exportadores?	30
14. ¿Quién configura las condiciones marco de la economía del hidrógeno?	32
15. ¿Cuáles son los peligros de la manipulación del hidrógeno?	34
Referencias	36

Prólogo

La Unión Europea (UE) y Alemania quieren ser neutras desde el punto de vista climático en 2050 y 2045 (D), respectivamente. El compromiso con la neutralidad climática significa que las aplicaciones y los productos que generan muchas emisiones deben ser sustituidos por alternativas sin emisiones. Una alternativa es el hidrógeno respetuoso con el clima. Solo el hidrógeno verde, es decir, el producido con agua y electricidad verde, es sostenible a largo plazo. El hidrógeno entra en juego cuando no hay una alternativa eléctrica directa, por ejemplo, en las industrias siderúrgica y química o en los aviones.

Una economía del hidrógeno preparada para el futuro es de gran importancia para la industria en Alemania. Por un lado, la industria necesita fuentes de energía y tecnologías respetuosas con el clima. Por otro lado, en Alemania existe una industria fuerte que puede desarrollarlas y comercializarlas. En una red europea se pueden crear cadenas de valor competitivas, que sean ecológica y socialmente compatibles. Para que el hidrógeno se convierta en una empresa sostenible en el ámbito mundial, deben establecerse reglas vinculantes y normas controlables, en especial para las importaciones de hidrógeno a Alemania y otros países europeos. Alemania y la UE aportan muchos miles de millones de euros para plantas de producción, infraestructuras de transporte, investigación y desarrollo. Por eso es importante entender qué oportunidades y retos tiene la economía del hidrógeno y qué formulación política es sostenible. Esperamos que este folleto contribuya a una mejor comprensión y a una clasificación constructiva del debate.

Dra. Stefanie Groll

Responsable del componente Ecología y Sostenibilidad, Fundación Heinrich Böll

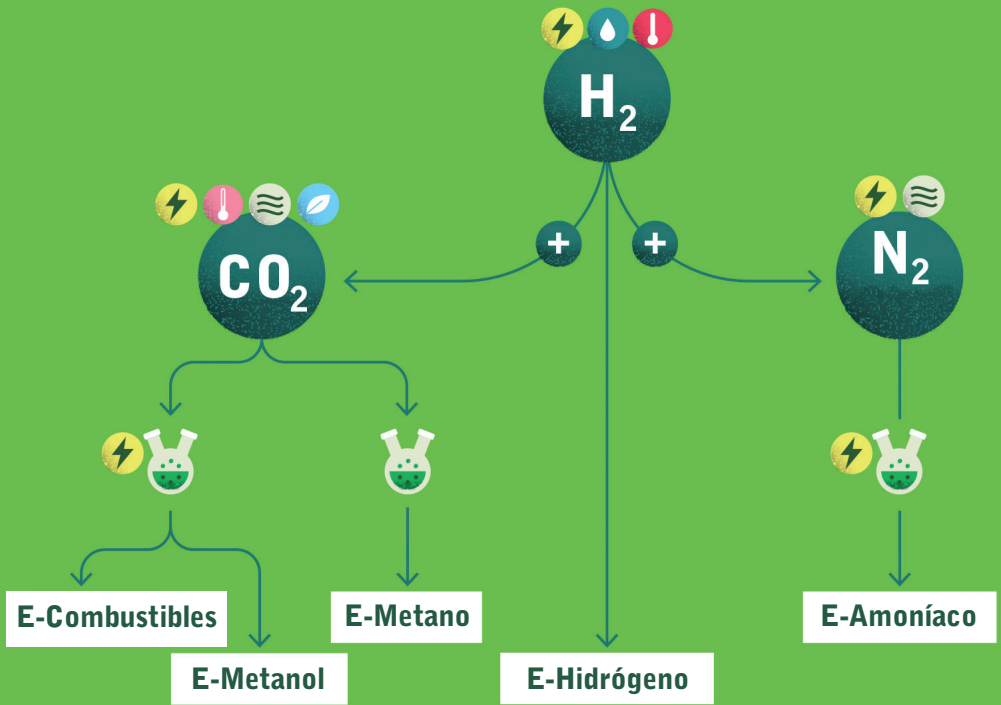
15 datos sobre el hidrógeno

Dato 1. ¿Qué es el hidrógeno?

El hidrógeno es un elemento químico que tiene muchas posibilidades

El hidrógeno es un elemento químico con el símbolo H (del latín hydrogenium, «productor de agua») y el número atómico 1. Se encuentra al principio de la tabla periódica y es el elemento químico de menor masa atómica. En las condiciones habituales de la Tierra, el hidrógeno se presenta como hidrógeno molecular H_2 , un gas incoloro e inodoro. Por regla general, solo existe en combinación con otras sustancias. Esto significa que si se quiere tener hidrógeno, hay que separarlo de un material de partida rico en hidrógeno, por ejemplo, el agua. El hidrógeno se describe como un «multitalento», «herramienta polivalente» y «plataforma». Estas metáforas aluden al hecho de que el hidrógeno funciona como materia prima y combustible, como portador de energía y como almacenamiento de energía, y es posible obtenerlo de diferentes fuentes.

La energía química contenida en el hidrógeno puede convertirse en calor, energía cinética y electricidad; sin embargo, hasta ahora el hidrógeno se ha utilizado principalmente como materia prima en la industria. Además, es posible transformar el hidrógeno en varios productos derivados. Entre ellos se encuentran los vectores energéticos sintéticos basados en el hidrógeno y productos químicos básicos como el metanol, el amoníaco, el metano sintético y los combustibles sintéticos (los llamados e-fuels). Este proceso, en el que se utiliza la electricidad para producir productos derivados, se denomina Power-to-X (PtX).¹ La X es un marcador de posición para el producto derivado, por ejemplo, un combustible (e-fuel) o amoníaco.



Proceso de síntesis

E

Hecho con energías renovables

Suministro de:



Electricidad verde



Aire



Calor a baja temperatura



Biomasa sostenible



Agua



Calor a alta temperatura

¿Cómo fabricar combustibles y productos químicos sintéticos?

El proceso PtX contribuye a la protección del clima si la electricidad procede de centrales eléctricas ecológicas adicionales. El CO₂ se extrae del aire o de la biomasa sostenible.

Fuente: Öko-Institut. (2019). Power-to-X: visión general de las materias primas, los procesos y los productos cómo se crean la electricidad, los combustibles y las materias primas químicas. <https://bit.ly/3oW4eM7>

Dato 2. ¿Por qué todo el mundo habla del hidrógeno?

Cada vez son más los países que quieren ser neutrales desde el punto de vista climático y que toman decisiones importantes al respecto

La neutralidad climática significa que existe un equilibrio entre las emisiones de gases de efecto invernadero y la absorción de estos gases de la atmósfera en los llamados «sumideros» (por ejemplo, bosques y océanos). Esto no significa que no haya más emisiones de gases de efecto invernadero. Dado que el potencial de compensación de los sumideros naturales (como suelos, páramos o bosques) y las tecnologías de inyección artificial (como la captura de CO₂ del aire o de los gases de escape y la inyección en cavidades geológicas) no está asegurado, evitar el CO₂ debe tener prioridad absoluta.

La producción y el uso del hidrógeno pueden ayudar en este sentido. Actualmente se están diseñando y desarrollando las infraestructuras y los modelos de negocio necesarios para la economía del hidrógeno. Alemania y la Unión Europea están apoyando esto en términos de política industrial con una gran cantidad de dinero, coordinación y un marco regulador adaptado para la industria energética. Pero cuando está en juego

el reparto de los miles de millones del Estado, naturalmente surge un intenso debate.

La industria del gas natural tiene un gran interés en asegurar su papel en la economía del hidrógeno. Así, esta industria quiere mantener su modelo de negocio tradicional con el gas natural, pero esto no es compatible con el objetivo social general de la neutralidad climática.

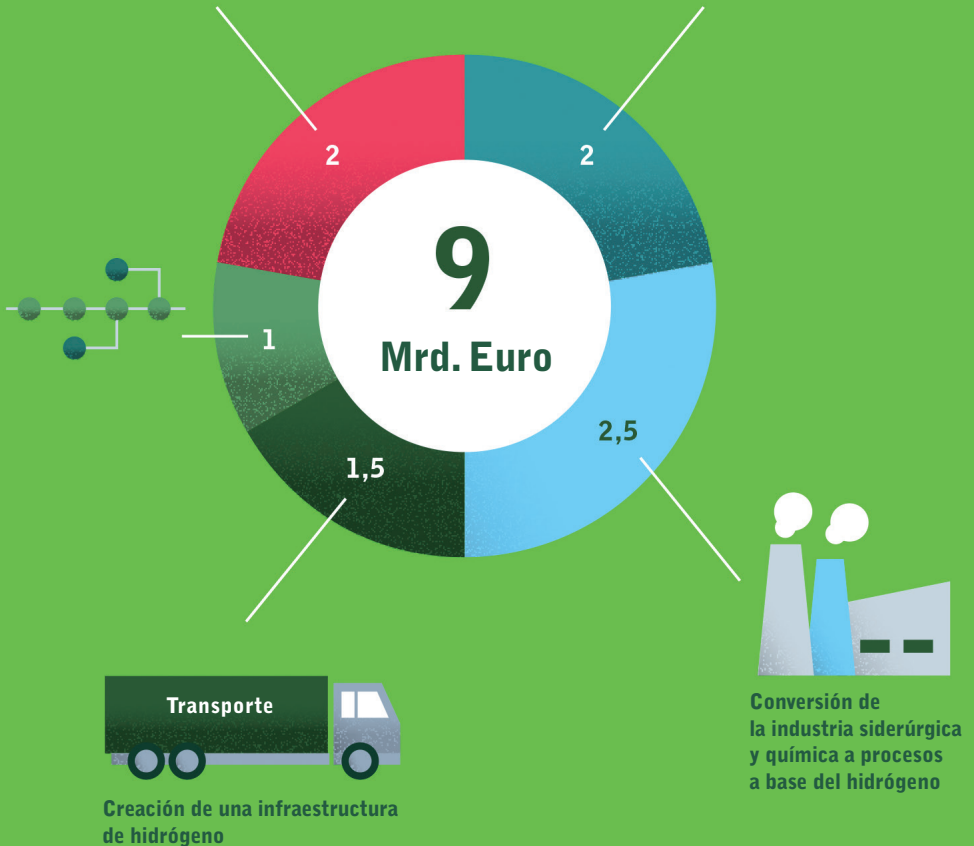
El Gobierno alemán quiere concentrar el apoyo político en el hidrógeno verde.² En cuanto a las importaciones, no se puede descartar que el hidrógeno azul (de los Países Bajos, por ejemplo) o el rosa (de Francia, por ejemplo) también lleguen a Alemania. La UE da prioridad al hidrógeno verde, pero considera que el hidrógeno «bajo en carbono» también sería necesario a corto y medio plazo.³ Esta posición la comparten varios miembros del Consejo Nacional del Hidrógeno en Alemania (las asociaciones ecologistas del Consejo Nacional del Hidrógeno han emitido un voto particular discrepante sobre esta cuestión)⁴.



Alianzas internacionales del hidrógeno



Estructura de los servicios de electrólisis



Aquí es donde se invierten los primeros miles de millones

De los 9.000 millones de euros de Alemania, 7.000 millones se destinan a proyectos nacionales y 2.000 millones a proyectos internacionales.

Fuente: Nationale Wasserstoffrat. (2021). Plan de acción del hidrógeno en Alemania 2021 al 2025. <https://bit.ly/3yn0Tqu>

Dato 3. ¿Qué tan ecológico es el hidrógeno?

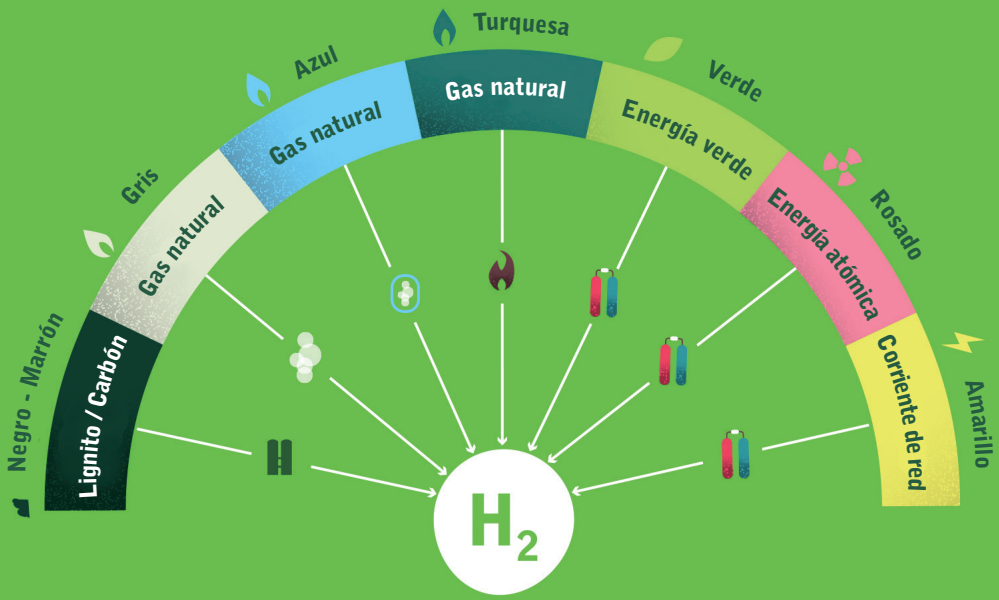
El factor decisivo consiste en definir las materias primas y los procesos con los que se produce el hidrógeno






En 2017, la producción mundial de hidrógeno emitió 830 millones de toneladas de CO₂. Esto es más de lo que emitió Alemania en total (797 millones de toneladas de CO₂).⁵ El hidrógeno actual es casi en un 100% el llamado «hidrógeno gris», producido a partir de gas natural. Durante su producción se emite carbono gaseoso. El hidrógeno azul y turquesa también se basa en el gas natural. En el caso del hidrógeno azul, las emisiones de CO₂ se capturan e inyectan bajo tierra. Con el hidrógeno turquesa, el carbono sólido producido como subproducto podría utilizarse como material compuesto, relleno o material de construcción. En Alemania, BASF y Wintershall Dea están impulsando este proceso. El grupo ruso Gazprom también está interesado en suministrar hidrógeno turquesa de Rusia a la UE⁶.

Los colores, por tanto, hacen referencia a qué procesos y qué materias primas se han utilizado para su producción. No dicen nada sobre el hidrógeno en sí.

Como el CO₂ del hidrógeno azul y turquesa no se libera (inmediatamente) a la atmósfera, sino que se «almacena» (bajo tierra o en un sólido), estos procesos se denominan neutros desde el punto de vista climático. Esta designación es controvertida porque el uso de gas natural provoca emisiones adicionales.

Solo el hidrógeno verde producido con electricidad verde en un proceso de electrólisis está prácticamente libre de emisiones. Estas solo se producen durante la construcción de las plantas de producción. El hidrógeno rosa y el amarillo también se producen mediante electricidad y electrólisis. El hidrógeno rosa utiliza electricidad nuclear, el amarillo usa electricidad de la red, una mezcla de electricidad fósil, verde y nuclear.



-  **Gasificación**
-  **Reformado con vapor**
-  **Reformado con vapor + CCS**
(Carbon, Capture and Storage en español: extracción y almacenamiento de CO₂)
-  **Pirólisis**
-  **Electrólisis**

El arco iris del hidrógeno

El hidrógeno no tiene en sí un color. Los colores simbolizan las materias primas y los procesos de fabricación.

Fuente: Frontier Economics. (2020): Green, blue hydrogen - potentials and security of supply. <https://bit.ly/3yjRg6>, Página 5.

Dato 4. ¿Por qué es controvertido el hidrógeno azul?

El hidrógeno azul se basa en el gas natural y durante su producción se liberan gases de efecto invernadero

Algunos expertos sostienen que el hidrógeno azul es necesario como solución provisional hasta que haya suficiente hidrógeno verde. Es importante utilizar ventanas de inversión y probar las aplicaciones con hidrógeno en las plantas de nueva construcción. El hidrógeno azul es una solución pragmática para las pruebas y la introducción en el mercado. Si se dispone de suficiente hidrógeno verde, se podría hacer el cambio de azul a verde. Otros expertos son escépticos y temen los «efectos de bloqueo». Esto significa que la transición al hidrógeno verde quedaría bloqueada y que, en su lugar, se seguiría utilizando el gas natural, perjudicial para el clima.

El hidrógeno azul, al igual que el gris, se basa en el gas natural. Incluso si la mayor parte del CO₂ se capturara tras la producción de hidrógeno y se pensara

bajo tierra, las emisiones perjudiciales para el clima que se producen durante la extracción y el transporte del gas natural (las llamadas «emisiones previas») seguirían existiendo. El problema es el metano, principal componente del gas natural. Si el metano entra en la atmósfera, es 28 veces más dañino para el clima que el CO₂ en un periodo de 100 años, y en 20 años es 84 veces más dañino que el CO₂(⁷).

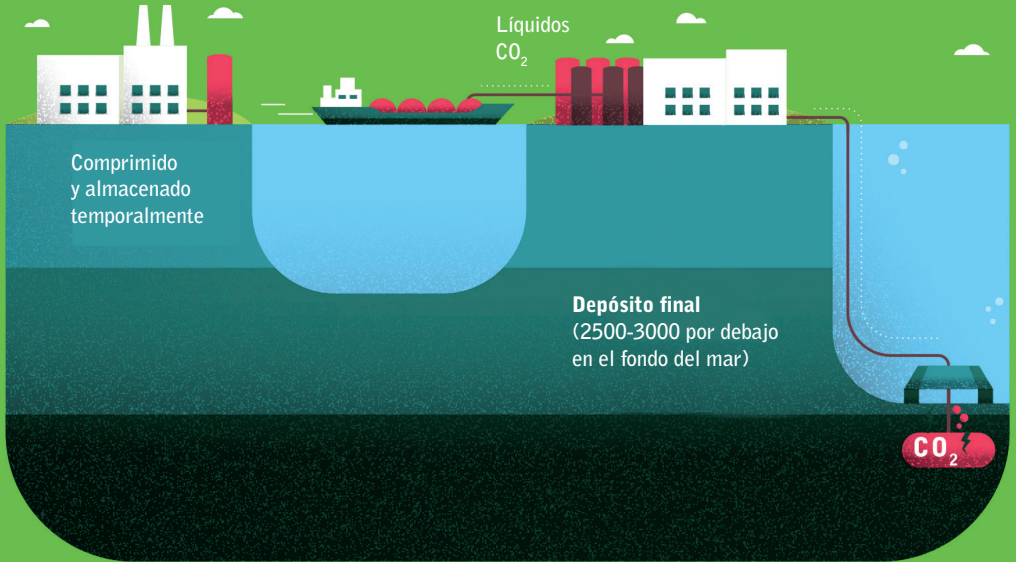
El supuesto almacenamiento final de CO₂ en el suelo no ha sido muy probado y está prohibido de facto en Alemania. En otros países está permitido y suele utilizarse para extraer gas natural o petróleo. El CO₂ se inyecta en depósitos de gas natural o petróleo casi agotados para extraer los últimos restos. Esta práctica va en contra de la promesa y del objetivo de la neutralidad climática.

Secuestro de CO₂
Secuestro de navés
industriales

Transporte
El CO₂ comprimido
se transporta en barcos

Depósito final
El CO₂ llega y se almacena
temporalmente

Se transporta a través de
gaseoductos en alta mar



Depósito final de alto riesgo

La empresa noruega de gas natural y petróleo Equinor (antes Statoil) quiere producir hidrógeno azul a gran escala y luego inyectar el CO₂ en el mar. Las organizaciones ambientalistas consideran que este proyecto es ecológicamente arriesgado.

Fuente: Equinor. (2021). *Northern Lights*. <https://bit.ly/3yf79Ax>

Dato 5. ¿Qué son los electrolizadores?

Los electrolizadores son plantas en las que se puede producir hidrógeno dividiendo el agua con electricidad

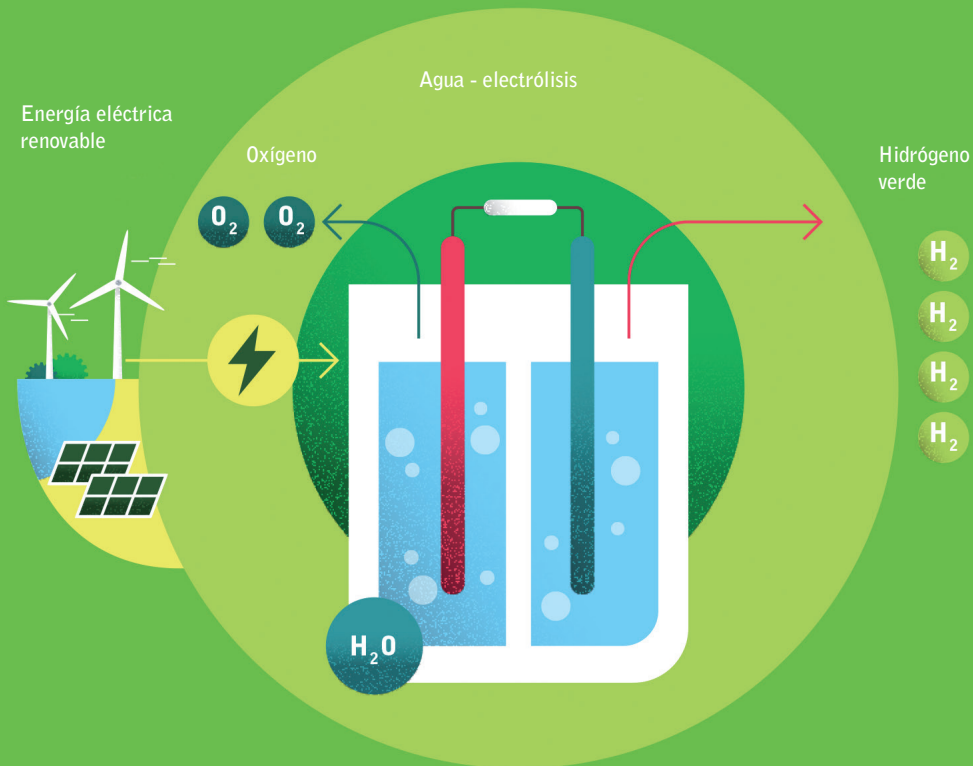
El hidrógeno se encuentra muy raramente en la tierra en forma pura, la mayoría de las veces está unido a otras sustancias. Por ejemplo, al agua: el H_2O es un compuesto químico de los elementos oxígeno (O) e hidrógeno (H). Si quieres tener hidrógeno, tienes que separar las moléculas de hidrógeno del oxígeno. El proceso técnico para ello se llama electrólisis. Con la adición de electricidad, el agua se divide en los elementos hidrógeno y oxígeno.

Existen diferentes tipos de electrolizadores. Se diferencian en cuanto a diseño y proceso. Esto repercute en su grado de eficacia, en los costos de producción del hidrógeno y en su funcionamiento en combinación con las energías renovables. La electrólisis de membrana de intercambio de protones (PEM) es la más adecuada para la alimentación fluctuante con energías renovables⁸.

El negocio de los electrolizadores se está construyendo. El Gobierno alemán cofinancia la construcción de electrolizadores en Alemania y en los países y regiones de los que se va a importar hidrógeno verde.

Además, este Gobierno tiene previsto construir una capacidad de electrolizadores de 5 gigavatios (GW) en Alemania para 2030, y de 10 GW para 2040. La UE y Alemania están invirtiendo muchos miles de millones en la investigación de la electrólisis hasta que esté lista para el mercado. Esto abre grandes oportunidades para el tradicionalmente fuerte sector alemán de las plantas y la ingeniería mecánica. En julio de 2021 se puso en marcha la mayor planta europea de electrólisis PEM hasta la fecha en un parque químico de Wesseling (Renania). Esta tiene una capacidad de 10 megavatios (MW), es decir, 0,01 GW⁹. En el emplazamiento químico de Leuna está previsto que entre en funcionamiento una planta PEM de 24 MW en 2022⁽¹⁰⁾.

El mayor electrolizador PEM del mundo



Los mayores electrolizadores PEM del mundo

1. Baofeng Energy, China	30 MW
2. OCI, Malasia	25 MW
3. Enaex, Chile	22 MW
4. Air Liquide, Francia	20 MW
5. FH2R/Shell, Japón	10 MW

La energía eléctrica se convierte en energía química

Oxígeno (O_2) hidrógeno (H_2) se producen a partir de la electricidad mediante electrólisis.

Fuente: Empresas Municipales Esslingen (2020): El suministro de energía del futuro, aportación del 7.4.2020 <https://bit.ly/3yzLQFBm>

Dato 6. ¿Qué papel desempeña el hidrógeno en la industria climáticamente neutra?

El hidrógeno es una tecnología importante para conseguir que la industria sea en gran medida climáticamente neutra en 2040

Como vector energético y materia prima, el hidrógeno verde puede sustituir a los vectores energéticos fósiles y a los productos derivados de ellos. Entra en juego cuando no hay otras opciones de protección del clima; se da prioridad a la industria química y a la producción de acero. Las sociedades industriales modernas no pueden prescindir de los productos químicos y del acero. El problema es que muchas de las emisiones de gases de efecto invernadero tienen lugar durante la producción.

Dos ejemplos muestran dónde y cómo el hidrógeno verde ofrece una solución. El amoníaco es un material básico importante para la industria química. Hasta ahora, se ha producido principalmente a base de gas natural, carbón y petróleo. Según la Asociación Alemana de la Industria Química, la síntesis de amoníaco es el proceso petroquímico que más CO₂ emite en todo el mundo.¹¹ El hidrógeno verde podría utilizarse ahora para producir amoníaco verde, lo que reduciría en gran medida la huella de carbono de la industria química¹².

El acero se produce en el alto horno o en una planta de reducción directa. En la ruta de los altos hornos, el hidrógeno verde puede sustituir al llamado carbón de inyección y reducir las emisiones. En la ruta de reducción directa, es posible utilizar hidrógeno verde en lugar de gas natural, y se produce agua como subproducto en lugar de CO₂.

El Gobierno alemán apoya estos cambios tecnológicos y quiere intensificar el apoyo a la política industrial. Entre otras cosas, se prevén los denominados contratos climáticos o de carbono por diferencia entre las empresas industriales intensivas en emisiones y el Estado. Con los contratos por diferencia se acuerda que el Estado compense a las empresas industriales por cambiar a una producción que ahorre gases de efecto invernadero. De este modo, se compensan los costos adicionales del hidrógeno verde y la sustitución de las instalaciones de producción y las empresas industriales siguen siendo competitivas.



Industria química

Amoníaco
(Fertilizantes)
Polímeros
(Plásticos)
Resinas

Refinerías

Hidrocrqueo
Desulfuración

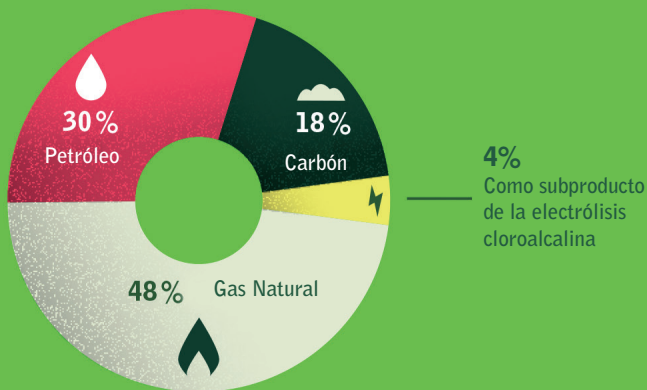
Producción de acero

Templado/endurecimiento
Gas inerte
Gas formador

Industria en general

Semiconductores
Producción de alimentos
Hidrogenación de grasas
Producción de vidrio
Enfriamiento de generadores

Aplicaciones del hidrógeno



Posibles aplicaciones del hidrógeno

Alrededor del 99 % de los 600.000 millones de m³ de hidrógeno del mundo se utilizan en la industria. Solo un 1 % se utiliza directamente como energía, como combustible para cohetes. Hasta ahora casi toda la producción de hidrógeno es de tipo gris.

Fuentes: Miranda, R. y Winkel, T. (2018). *Perspectivas tecnológicas del hidrógeno procedente de energías renovables para la transición energética*. <https://bit.ly/3kvKewh6> / Asociación Alemana de Hidrógeno y Celdas de Combustible. (2015). El hidrógeno, el nuevo portador de energía. <https://bit.ly/3DJeGu>

Dato 7. ¿Qué papel desempeña el hidrógeno en el sistema eléctrico?

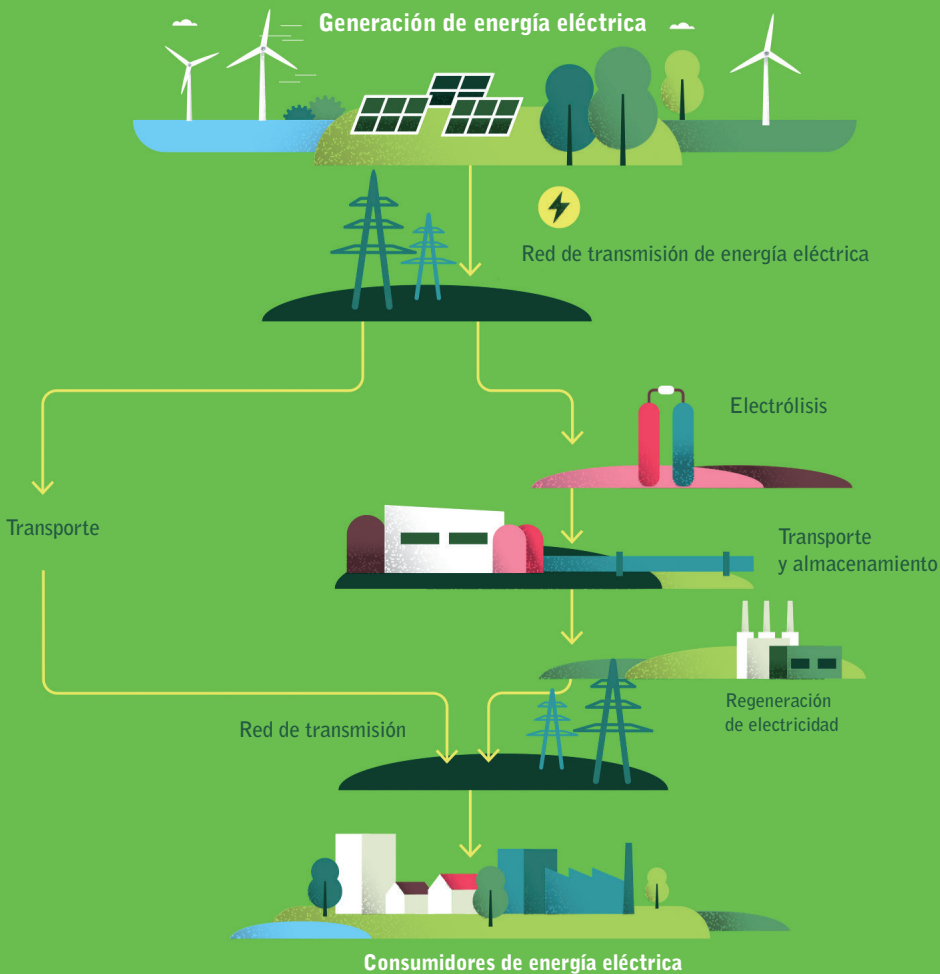
A largo plazo, el hidrógeno es una opción para almacenar energía durante más tiempo

Actualmente, el hidrógeno no desempeña un papel importante en el suministro de electricidad. El uso del hidrógeno solo será necesario cuando haya una proporción muy alta de energías renovables en el sistema eléctrico. Entonces, el hidrógeno podría actuar como almacén de energía y volver a convertirse en electricidad.

Debido a su capacidad de almacenamiento, al hidrógeno se le suele llamar el «socio de las renovables».

El suministro de energía debe estar completamente descarbonizado en los próximos 10 o 15 años. «Descarbonizado» significa que no se genera más electricidad a partir de carbón, gas fósil o petróleo. La energía eólica y la fotovoltaica son los principales pilares de este sistema energético libre de carbono. La generación de electricidad a partir de la energía eólica y solar fluctúa, pero las empresas y los hogares pueden ajustar su demanda de electricidad en pequeña medida a un suministro eléctrico fluctuante.

Por ejemplo, los sistemas de refrigeración pueden funcionar a media potencia durante unas horas. Adaptar la demanda de electricidad a la fluctuación de la alimentación –haciéndola más flexible– es un proyecto importante para la industria energética y la política energética. Sin embargo, además de flexibilizar la demanda, serán necesarias instalaciones de almacenamiento de electricidad para garantizar la seguridad del suministro. Las baterías, las centrales eléctricas de bombeo o el hidrógeno son apropiados para este fin. El hidrógeno sería un portador de energía adecuado y puede volver a convertirse en electricidad cuando se hayan agotado todas las demás opciones de almacenamiento y flexibilidad. Los expertos parten de la base de que el hidrógeno solo se volvería a convertir en electricidad durante los largos periodos de poco viento en invierno¹³.



De la electricidad verde se pasa al gas verde y a la electricidad verde de nuevo

Siempre se pierde energía durante la conversión. Por ello, la electricidad verde debe utilizarse directamente siempre que sea posible. «Electrificación primero» es el lema.

Fuentes: Ebersbach, N. et al. (2018). *Diseño y evaluación de las vías de retorno del hidrógeno en los sistemas energéticos nacionales. Optimización de los sistemas energéticos con resolución espacio-temporal.* <https://bit.ly/3t1L1BL> Página 2

Dato 8. ¿El hidrógeno puede mejorar la huella climática del transporte?

En el transporte por camión, barco y avión, el hidrógeno y los combustibles a base de hidrógeno pueden contribuir a la descarbonización

La mayoría de los expertos parten de la base de que el hidrógeno y los combustibles sintéticos (e-fuels) no desempeñarán un papel importante en el sector del transporte hasta 2030. Incluso después de eso, los propulsores de pila de combustible o los combustibles PtX solo tienen sentido en algunas zonas.

En la actualidad, los e-combustibles se producen a escala de laboratorio y su producción es muy intensiva en energía.

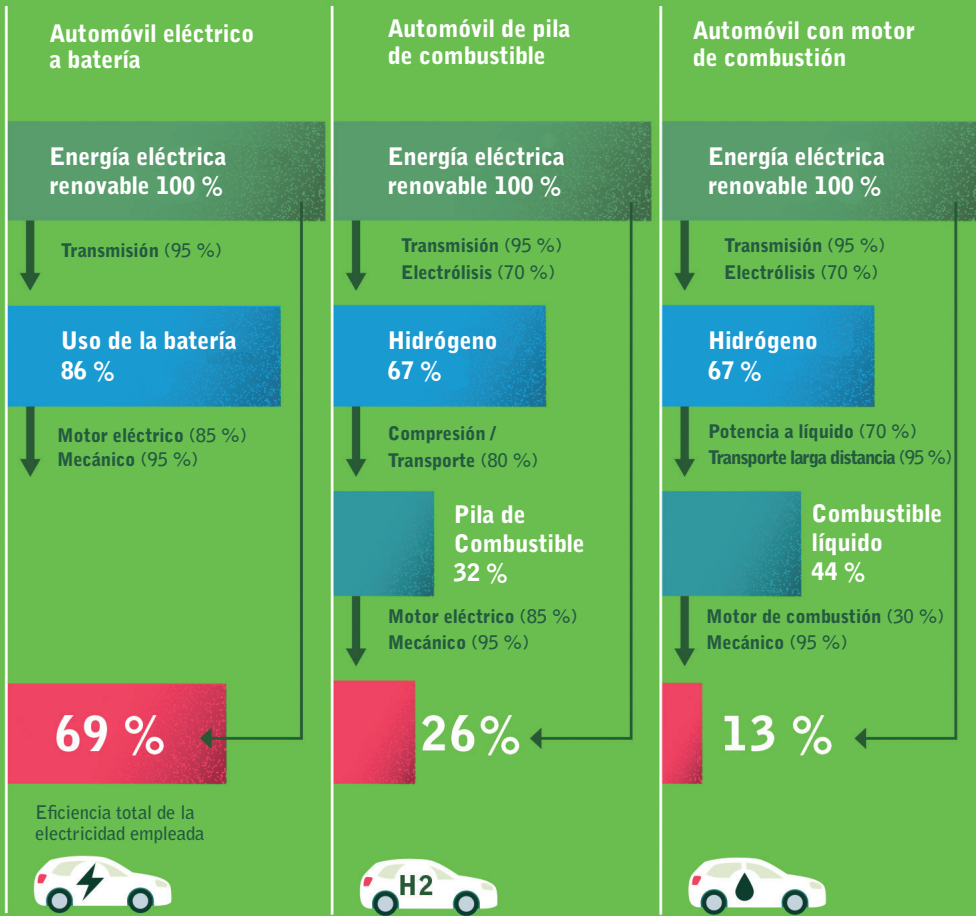
Para la producción de e-combustibles, primero se lleva a cabo la electrólisis, es decir, el agua se descompone en hidrógeno y oxígeno. Al añadir CO_2 , se produce metano a partir de hidrógeno. Los combustibles deseados se obtienen mediante otros procesos químicos. Son químicamente idénticos a la gasolina, el gasóleo o la parafina convencionales.

Dado que la electricidad verde seguirá siendo escasa en el futuro, los e-combustibles solo deberían utilizarse cuando no sea posible la propulsión eléctrica con baterías.¹⁴ Esto se aplica, por ejemplo, al tráfico aéreo o al transporte marítimo.

También se están investigando los accionamientos de amoníaco para el transporte marítimo. El amoníaco se produce a partir de aire, agua y electricidad verde; el hidrógeno se separa en el sistema de propulsión y se quema en una pila de combustible.

En la actualidad hay unos 48 millones de automóviles en Alemania, de los cuales solo unos 800 son de pila de combustible.¹⁵ Debido a los elevados costos generales de funcionamiento y a la escasa eficiencia energética, los automóviles de hidrógeno no son una opción favorable para reducir las emisiones del transporte terrestre.

Sin embargo, el tema de las pilas de combustible está en auge entre los fabricantes de camiones y las empresas de logística, al menos en lo que respecta al transporte de larga distancia. Daimler, por ejemplo, ha unido fuerzas con Volvo para construir vehículos comerciales pesados de pila de combustible para el transporte de larga distancia.¹⁶ En el tráfico de reparto de corta distancia y para distancias medias, los camiones de batería son la solución más barata.



Nota: Eficiencias individuales entre paréntesis. Los valores acumulados se obtienen multiplicando las eficiencias individuales. Eficiencias generales en las cajas.

El funcionamiento con baterías es el más eficiente

El grado de eficiencia global de la electricidad utilizada es menor en el automóvil de pila de combustible así como con los combustibles líquidos.

Fuente: Agora Energiewende, Agora Verkehrswende y Frontier Economics. (2018). *El futuro costoso de los combustibles sintéticos basados en la electricidad*. <https://bit.ly/3DmvDvu> Página 12

Dato 9. ¿El hidrógeno puede mejorar la huella climática de la calefacción?

Para la calefacción, el hidrógeno solo tiene un sentido muy limitado por razones sociales, económicas y ecológicas

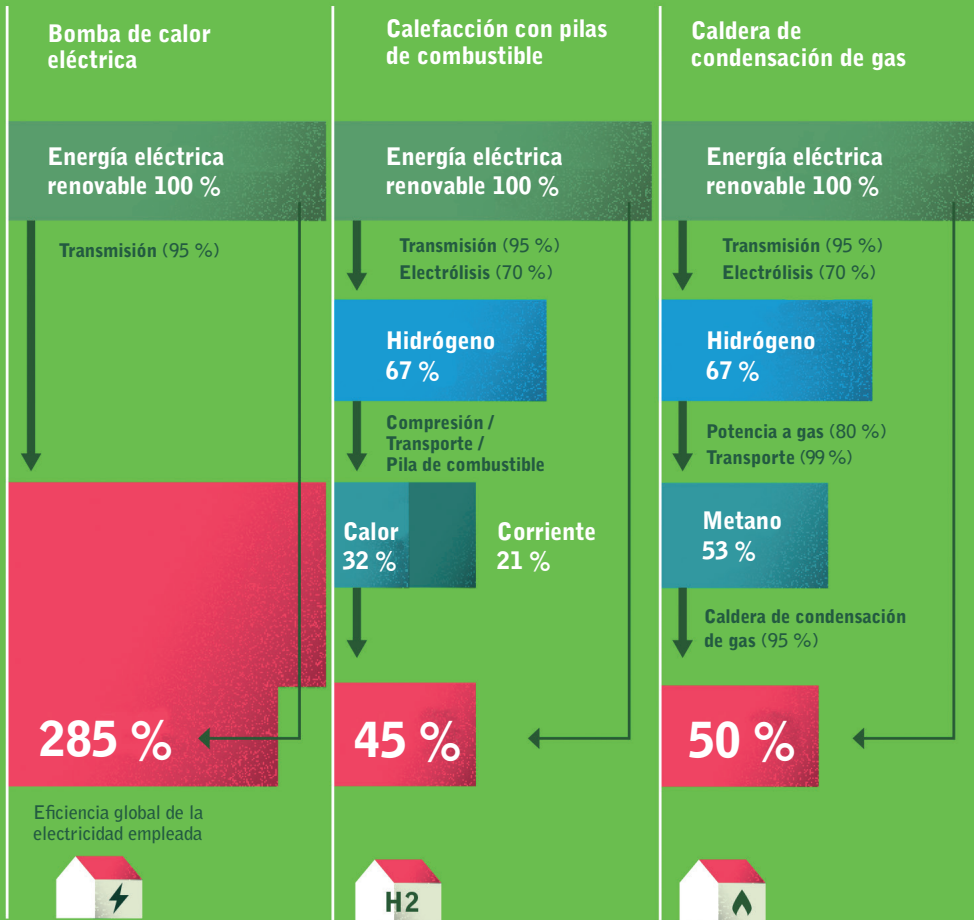
El gas natural y el petróleo dominan el suministro de calor. Algo menos de la mitad de las viviendas se calientan con gas natural y algo menos de una cuarta parte con petróleo. Las calderas eléctricas y las bombas de calor, la biomasa o el carbón son mucho menos comunes. La situación es similar en el sector de la construcción comercial.¹⁷ Al igual que en el caso del transporte, en el sector de la construcción deberían utilizarse primero otras estrategias de reducción de emisiones y tecnologías más eficientes antes de que entren en juego el hidrógeno o los combustibles para calefacción basados en el hidrógeno.

Las opciones más eficientes y baratas son reducir la demanda de calor, por ejemplo, mediante el aislamiento, y utilizar directamente la electricidad renovable y el calor residual. Una bomba de calor usa la electricidad de forma cinco veces más eficiente que una caldera de gas alimentada con hidrógeno¹⁸.

Fabricantes como Bosch, Viessmann o Vaillant desarrollan y comercializan calderas «H₂-Ready» (H₂-Listas).

Estas calderas funcionan con gas natural convencional o con una mezcla de hidrógeno de hasta el 20 %. Si algún día existe una red nacional de hidrógeno puro, dicen los fabricantes, las calderas preparadas para el H₂ pueden convertirse a un funcionamiento 100 % de H₂ cambiando el quemador¹⁹.

Hasta la fecha no se sabe si habrá suficiente hidrógeno verde a precios aceptables, que pueda ser transportado en gasoductos convertidos y luego quemado. La escasez seguirá siendo un motor de precios en el futuro. Tampoco se sabe si habrá una red de distribución a las casas individuales. Los costos de calefacción con hidrógeno serían al menos dos veces más altos que con una bomba de calor. Por tanto, el hidrógeno no es una opción para una descarbonización socialmente aceptable del suministro de calor²⁰.



Nota: Eficiencia individual entre paréntesis. Multiplicando las eficiencias individuales se obtiene el total de eficiencias acumuladas en las casillas. Se asume un factor de rendimiento anual de tres para la bomba de calor

La bomba de calor es la más eficiente

El grado de eficiencia global de la electricidad utilizada es menor la calefacción de pila de combustible así como Caldera de condensación de gas.

Fuente: Agora Energiewende, Agora Verkehrswende y Frontier Economics. (2018). *El futuro costoso de los combustibles sintéticos basados en la electricidad.* <https://bit.ly/3DmvDvu> Página 13

Dato 10. ¿Cómo se transporta el hidrógeno?

El hidrógeno puede transportarse a través de ductos o mediante barcos y buques cisterna, dependiendo de la distancia y la cantidad

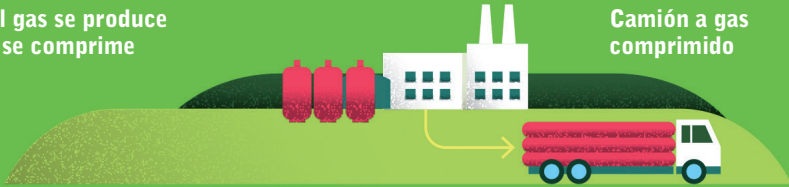
La mayor parte del hidrógeno que se produce hoy en día se consume directamente en el lugar de producción, por ejemplo, en las instalaciones de una empresa química. Hasta ahora solo se transporta el 5 % del hidrógeno producido en todo el mundo.²¹ Por lo tanto, no existe una infraestructura de hidrógeno completa. En la actualidad, muchos países y regiones se plantean utilizar el hidrógeno para conseguir la neutralidad climática. Habrá países que puedan producir más hidrógeno del que consumen y países que necesiten más del que producen. Los sistemas de transporte son necesarios para esta economía global del hidrógeno. Para distancias cortas y medianas y volúmenes elevados, las tuberías son la opción obvia. Los operadores de la red de gas abogan por utilizar los gasoductos existentes. Inicialmente, el hidrógeno debería mezclarse con gas natural, tras lo cual podría convertirse en una red de hidrógeno puro. Muchos

expertos opinan que es un costoso desperdicio de hidrógeno de alta calidad mezclarlo en la red de gas natural.

Los operadores de la red de gas afirman que una mezcla del 10 al 20 %, especialmente en la red de distribución, contribuye a la descarbonización, sobre todo en el sector de la calefacción²².

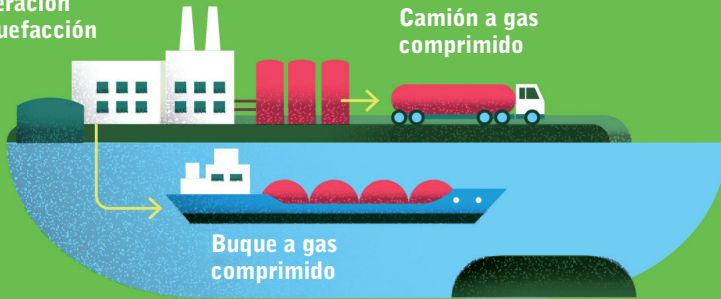
¿Y qué hay de la conversión de los gasoductos de gas natural en gasoductos de hidrógeno puro? Esto solo tendría sentido si el hidrógeno pasara en cantidades muy grandes. Para los países exportadores lejanos, los oleoductos están fuera de lugar por razones técnicas y económicas. En cambio, el transporte se hará por barco para el largo recorrido y por camión cisterna para la distribución. Sin embargo, el hidrógeno debe licuarse primero o almacenarse en determinados materiales portadores.²³ Puede ser más eficiente importar inmediatamente un producto final deseado, como los combustibles sintéticos o el amoníaco, porque es más fácil de transportar.

El gas se produce
y se comprime



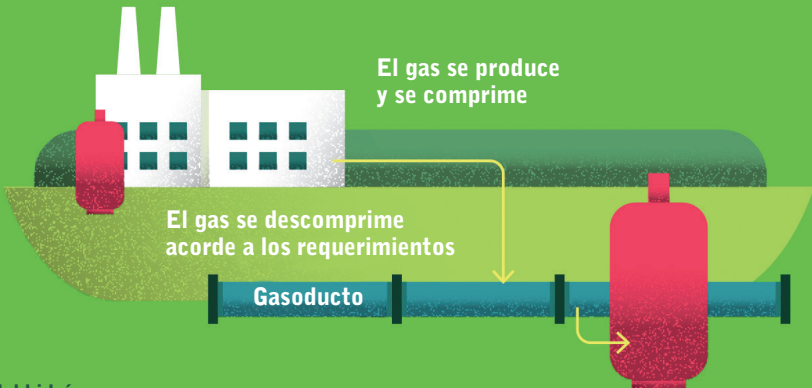
Generación
y licuefacción

Camión a gas
comprimido



Buque a gas
comprimido

El gas se produce
y se comprime



El gas se descomprime
acorde a los requerimientos

Gasoducto

Rutas del hidrógeno

Hay muchas ideas y posibilidades. Las asociaciones de investigación buscan las mejores soluciones en función de la aplicación

Fuente: Hydroville. (2020). *¿Cómo se transporta el hidrógeno?* <https://bit.ly/3gzf85J>

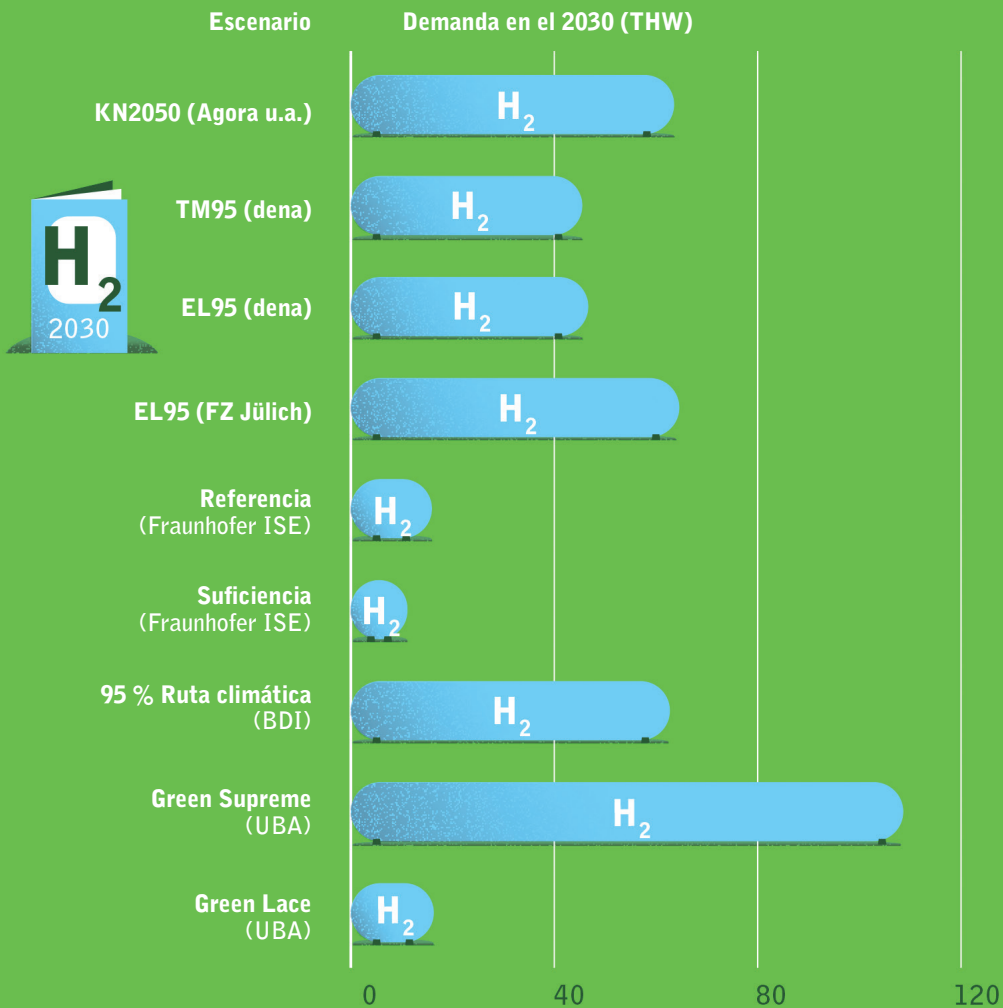
Dato 11. ¿Cuánto hidrógeno se necesita en Alemania?

La demanda futura de hidrógeno se estima de forma muy variada

Es tarea de la política dirigir la economía del hidrógeno en una dirección sostenible. Para la elaboración de políticas, es importante saber cómo evolucionará el suministro de energía en su conjunto. La ciencia ayuda a describir un posible camino hacia el futuro (el llamado camino de transformación) y un posible estado futuro. Estas construcciones se denominan escenarios. Es importante destacar que los escenarios no pueden predecir el futuro, sino que muestran posibilidades. La cantidad de hidrógeno que se necesitará en Alemania en las próximas dos o tres décadas, el «color» que tendrá y cómo o dónde se producirá dependen de las decisiones que se tomen hoy. La política desempeña un papel importante en su configuración, por ejemplo, a través de los instrumentos de política industrial y de investigación, y las condiciones marco.

El consumo nacional de hidrógeno se estima en 55 ⁽²⁴⁾ a 60 ⁽²⁵⁾ teravatios-hora (TWh). El Consejo Consultivo Alemán de Medio Ambiente (Sachverständigenrat für Umweltfragen) compara 9 escenarios que se pronuncian sobre las cantidades demandadas de hidrógeno producido de forma no convencional (incluidos los productos derivados del PtX) en 2030.²⁶ La gama de cantidades previstas es alta. Esto se debe al hecho de que se hacen diferentes suposiciones sobre la cantidad de portadores de energía fósil que se seguirán utilizando, sobre cómo se desarrollará la eficiencia energética y el ahorro de energía, o sobre lo caro que será importar hidrógeno y productos derivados del PtX.

Existe un amplio consenso en que el hidrógeno (verde) debe utilizarse principalmente en la industria para evitar las emisiones en ella, y en que gran parte del hidrógeno es importado.



Estimaciones de la demanda de hidrógeno

Cantidades de hidrógeno (incluidos los derivados del PtX) demandadas en 2030 en diferentes escenarios sin hidrógeno producido convencionalmente.

Fuente: Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). *El hidrógeno en la protección del clima: calidad en lugar de masa*. <https://bit.ly/3xulEkI> Página 11

Dato 12. ¿Qué hay que tener en cuenta con respecto a las importaciones de hidrógeno?

Hay que evitar objetivos contradictorios e impactos negativos para las personas y la naturaleza en las regiones exportadoras

La demanda de hidrógeno verde es mayor que la cantidad que se puede producir en la propia Alemania. Unas dos terceras partes tendrán que ser importadas a partir de 2030. Los países con mucha tierra, sol y viento tienen buenas condiciones geográficas y físicas para la producción de hidrógeno verde. Dado que el transporte a largas distancias es muy caro, las importaciones se limitarán probablemente en un principio a las regiones europeas, la región mediterránea y Oriente Medio.²⁷ El Mar del Norte, Ucrania, España, Portugal y Marruecos están en discusión.

En definitiva, el comercio internacional de hidrógeno crea una gran necesidad de actuación en materia de política exterior, de seguridad y de desarrollo²⁸.

Hasta ahora no existen criterios internacionales vinculantes en materia de medio ambiente y derechos humanos para el hidrógeno y sus derivados. El hidrógeno ofrece la oportunidad de anclar los criterios medioambientales y de derechos humanos, algo que, por cierto, nunca se ha hecho con los vectores energéticos fósiles. Para que el hidrógeno se produzca de forma realmente sostenible, es necesario construir nuevas instalaciones de producción de electricidad verde. Este «criterio de adicionalidad» es actualmente objeto de un acalorado debate, por ejemplo, en la aplicación de la Directiva Europea de Energías Renovables (RED II) en la legislación nacional. Pero también debe aplicarse a los países exportadores que se construyan nuevas instalaciones de producción de electricidad verde.



Buen gobierno y transparencia

El respeto de los derechos humanos y la lucha contra la corrupción deberían ser requisitos previos para cualquier compromiso de Alemania y Europa en el ámbito del hidrógeno.



Participación

Los actores locales de la sociedad civil y las partes interesadas deben participar en la planificación, la ejecución y el seguimiento de los proyectos, si es posible también financieramente.



Deuda pública

El nuevo endeudamiento de los países exportadores para financiar grandes proyectos (especialmente las capacidades de EE) no debe superar un determinado nivel.



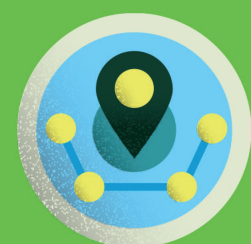
Enfoque sistémico

El desarrollo de la producción de hidrógeno debe integrarse en la aplicación de la transición energética nacional y regional.



Combinación de generación de la electricidad existente

La intensidad de GEI del acceso a la electricidad debe ser variable. La producción de hidrógeno a gran escala solo podrá iniciarse cuando el mix eléctrico del país en cuestión alcance repetidamente una intensidad de GEI inferior a 50-200 g de CO2/kilovatio hora.



Creación de valor local

Debe promoverse específicamente la creación de puestos de trabajo y la expansión del potencial de valor añadido local en los países productores.

Criterios para determinar las importaciones

Además de estos criterios generales para las importaciones, debe realizarse un examen de la sostenibilidad socioecológica a nivel del proyecto.

Fuente: Alianza Climática. (s. l.). *Documento de posición de la sociedad civil alemana sobre el hidrógeno*. <https://bit.ly/3zmnXqH> Página 11

Dato 13. ¿Qué oportunidades ofrece la producción de hidrógeno a los países exportadores?

Hay oportunidades de desarrollo, pero también desafíos para el propio desarrollo

Para muchos sectores industriales, los costos energéticos son un factor decisivo a la hora de elegir la ubicación. Así, el costo del hidrógeno verde –como importante portador de energía y materia prima– podría convertirse también en un factor de localización. Esto se traduce en oportunidades de desarrollo: las empresas industriales de alto consumo energético podrían trasladarse a Marruecos, Ucrania o Chile, por ejemplo. Estos países tendrían la oportunidad no solo de producir hidrógeno, sino también de traer al país grandes partes de la cadena de valor, como la producción de amoníaco.²⁹ La creciente demanda de hidrógeno verde podría llevar a la construcción de más plantas eólicas y solares en estos países. Si estas centrales también impulsan la transición energética a nivel local, es decir, reducen la dependencia del carbón, el gas y el petróleo, sería bueno.

Sin embargo, si las plantas solo producen para la exportación, la transición energética local no se vería favorecida. Esta evolución debe ser temida por los países que dependen en gran medida del petróleo o del carbón.

Las organizaciones ecologistas y de derechos humanos llevan tiempo señalando los conflictos por el uso de los recursos y la tierra. La central hidroeléctrica INGA 3, prevista en la República Democrática del Congo (RDC), es un ejemplo de crítica. La electricidad de la central hidroeléctrica también se utilizará para producir hidrógeno verde para Europa. Sus defensores afirman³⁰ que solo se utilizaría para exportar hidrógeno el excedente de electricidad que no se necesite a nivel local. Las organizaciones medioambientales y de derechos humanos se muestran escépticas: por un lado, la RDC carece de la infraestructura eléctrica y de las condiciones políticas fiables necesarias para esta visión. Por otro lado, el INGA 3 causaría considerables daños sociales y ecológicos, como el reasentamiento forzoso de 37.000 hogares agrícolas, el afianzamiento de la pobreza energética y la reducción del caudal del río Congo, que pondría en peligro la biodiversidad y la diversidad de especies. En cambio, apenas se crean puestos de trabajo³¹.

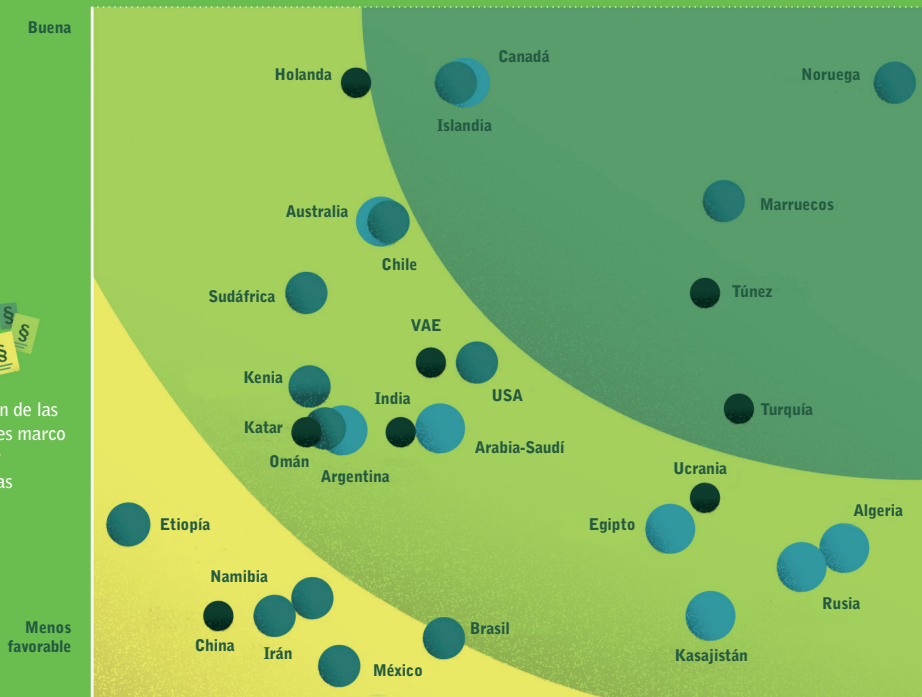
Hidrógeno verde Potencial de exportación 2050

Contiene hipótesis sobre la evolución a largo plazo, por lo que está sujeta a incertidumbres

Importante Menor



Evaluación de las condiciones marco políticas y económicas en 2030



Mayor costo
(175€/M Wh)

Estimación de los costos de fabricación
e importación para 2030

Menor costo
(50€/M Wh)



Posibles países de origen del hidrógeno verde

El análisis de esta figura se limita a aquellos países no pertenecientes a la U.E.

Fuente: Adelphi, Dena, GIZ y Navigant. (2020). *Hidrógeno verde: potencial de cooperación internacional para Alemania. Breve análisis de algunos aspectos de los posibles socios no pertenecientes a la UE.* <https://bit.ly/3DmC3e4> Página 5

Dato 14. ¿Quién configura las condiciones marco de la economía del hidrógeno?

La Comisión Europea, numerosos Estados y regiones han presentado estrategias sobre el hidrógeno

En 2020, la Comisión Europea y el Gobierno alemán publicaron sendas estrategias sobre el hidrógeno, y varios estados alemanes han desarrollado las suyas o están trabajando en ellas.³²

Numerosas asociaciones industriales, organizaciones medioambientales e instituciones científicas también están elaborando hojas de ruta y propuestas. El Consejo Nacional del Hidrógeno (NWS) asesora al Gobierno alemán en la aplicación y el desarrollo de la estrategia del hidrógeno. En el ámbito europeo, la Alianza Europea para el Hidrógeno Limpio va a identificar proyectos de inversión en «hidrógeno renovable y bajo en carbono», «con el fin de contribuir de forma significativa a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero»³³.

La medida en que surja una economía del hidrógeno socioecológica y competitiva depende en gran medida de las condiciones del marco político. Qué hidrógeno se promueve políticamente y cómo es importante para las decisiones de inversión de las empresas

industriales que utilizan hidrógeno. Los mecanismos nacionales de apoyo y los instrumentos de política industrial deben ajustarse a los requisitos europeos, por ejemplo, en lo que respecta a las subvenciones.

Sin embargo, también es posible prohibir ciertas tecnologías perjudiciales para el clima, de modo que las innovaciones y tecnologías respetuosas con el clima ganen rápidamente en aceptación. Además, Europa puede utilizar su poder de mercado global y prescribir estrictos criterios socioecológicos para el hidrógeno (importaciones).

El punto central para un sistema energético descarbonizado sigue siendo la expansión de las energías renovables.

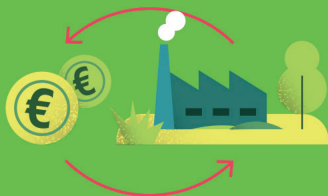
Hay que planificar capacidades adicionales para el hidrógeno verde, es decir, además de la demanda del uso directo de la electricidad para la electromovilidad, las bombas de calor, etc. Todo esto no exime a la política, a la economía y a la sociedad de la tarea fundamental de utilizar la energía de la forma más eficiente posible y ahorrarla cuando sea viable.



Política energética

Expansión de las energías renovables

- Electrificación con electricidad verde
- Impulsar la producción de hidrógeno verde



Política industrial

Convenios de protección del clima

- Incentivar el cambio a una producción respetuosa con el clima mediante pagos compensatorios.



Política industrial

Ajuste de límites

- Garantizar la competitividad internacional de la industria respetuosa con el clima encareciendo las importaciones intensivas en CO₂



Política de innovación

Promoción

- Apoyar los proyectos emblemáticos
- Promover la madurez del mercado



Derecho normativo

Estándares, cuotas

- Creación de mercados líderes verdes
- Inversiones inmediatamente rentables

Condiciones marco para una industria respetuosa con el clima

Una combinación de incentivos, promoción y requisitos normativos fomenta la protección del clima y competitividad.

Dato 15. ¿Cuáles son los peligros de la manipulación del hidrógeno?

El gas es altamente explosivo

El principal peligro al manipular el hidrógeno es que puede explotar si entra en contacto con el aire y hay una fuente de ignición cerca, por ejemplo, un incendio. Mucha gente conoce esta reacción como la prueba del oxihidrógeno de las clases de química. En la prueba del oxihidrógeno se produce hidrógeno en un tubo de ensayo, luego se libera al aire y se «quema» con un encendedor. Si no hay una fuente de ignición, el hidrógeno gaseoso no explota, sino que se evapora rápidamente. Además de las explosiones, la fragilidad de los materiales y las interrupciones de la producción y el suministro representan riesgos en el uso del hidrógeno. Esta es una de las razones por las que las empresas no se limitan a convertir los gasoductos de gas natural existentes para el transporte de hidrógeno.

En junio de 2019, hubo una explosión en una estación de servicio de hidrógeno en Noruega. Según el fabricante Nel, la gasolina se había filtrado desde un depósito de alta presión almacenado por separado y no desde la bomba de combustible.

No se aclaró de forma concluyente cómo pudo prender el gas, o se interrumpió la información a finales de junio de 2019⁽³⁴⁾.

En 1937, el Zeppelin Hindenburg se incendió cerca de Lakehurst, en el estado estadounidense de Nueva Jersey. La explosión mató a 35 personas. Algunos creen que esto condujo a un «síndrome de Hindenburg», una actitud escéptica hacia el hidrógeno como portador de energía que no puede justificarse objetivamente. Por último, pero no menos importante: una bomba de hidrógeno no tiene nada que ver con el hidrógeno como portador de energía y con la forma en que se discute políticamente en la actualidad. Una bomba de hidrógeno es un arma nuclear, los isótopos H_2 se utilizan para la fusión nuclear.

El hidrógeno, tal como se describe aquí, contribuirá a que la industria, el transporte de mercancías por carretera, el transporte marítimo y los vuelos sean más respetuosos con el clima. Este hidrógeno formará parte de nuestro futuro.

**Nota
aproximada 2.1
Para gases
inflamables**



**Panel
naranja
de la UN.**



Número de peligro 23:
Gases inflamables
Número UN 1049:
Hidrógeno, comprimido



Energía para un futuro neutro desde el punto de vista climático

Placa UN en ambos
lados del tanque

Asimismo, el vehículo
y el remolque deben
estar marcados con
una placa naranja



«Muévase con precaución»
(Solo para el transporte
ferroviario)

Marcado para un transporte de hidrógeno

El transporte de mercancías peligrosas está sujeto a la obligación de etiquetarlo.

Fuente: LandesEnergieAgentur Hessen GmbH (LEA). (2020). *Descripción del potencial del transporte de hidrógeno a través de la red ferroviaria*. <https://bit.ly/3gBfZmb> Página 19

Referencias

- 1 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz: Klasse statt Masse, Stellungnahme. <https://bit.ly/3xulEkI>
- 2 Bundesregierung. (2021). Antwort auf Kleine Anfrage von Mitgliedern der Bundestagsfraktion von Bündnis 90/Die Grünen, Bundestagsdrucksache. <https://bit.ly/2UNH0v1>
- 3 Europäische Kommission. (2020). A Hydrogen Strategy for a Climate neutral Europe, Faktenblatt. <https://bit.ly/3ksLVdz>
- 4 Nationaler Wasserstoffrat. (2021). Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021-2025. <https://bit.ly/3yn0Tqu>
- 5 WoodMacKenzie. (2019). The Future of Green Hydrogen. <https://bit.ly/3DI6v8j>
- 6 Hanno Böck. (2021). «Türkiser» Wasserstoff mit kritischer Klima-Bilanz. <https://bit.ly/3jiUJ6F>
- 7 Deutsche Umwelthilfe. (2015). Methan: Auswirkungen auf Klima und Gesundheit. <https://bit.ly/38g03S4>
- 8 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz. <https://bit.ly/3xulEkI>
- 9 Erneuerbare Energien. (2021). Europas größter PEM-Elektrolyseur in Betrieb. <https://bit.ly/38ehLFc>
- 10 Handelsblatt. (2021). Linde baut in Leuna den weltweit größten Wasserstoff-Elektrolyseur. <https://bit.ly/3hpz8I0>
- 11 Verband der chemischen Industrie. (2019). Pressestatement von Kurt Wagemann. <https://bit.ly/38cnwU9>

12 Öko-Institut. (2020). Wasserstoff sowie wasserstoffbasierte Energieträger und Rohstoffe. <https://bit.ly/3DmqIuL>

13 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz, a.a.O., S. 66.

14 Stefanie Groll und Christine Wörten .(2019). Strom im Tank, in: Heinrich-Böll- Stiftung & Verkehrsclub Deutschland: Mobilitätsatlas, S. 18-19, hier S. 18, <https://bit.ly/30cvwUb>

15 Kraftfahrt-Bundesamt. (2021). Bestandsüberblick am 1. Januar 2021, <https://bit.ly/30poTy3>

16 Automobil-Produktion. (2020). Die Zukunft der Brennstoffzelle im LKW. <https://bit.ly/38d2Aw6>

17 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz, a.a.O., S. 61.

18 Heinrich-Böll-Stiftung. (2021). Besser wohnen mit Klimaschutz, Fakten zur Wärmewende. <https://bit.ly/3yuDzHH>

19 Bosch. (2020). Der Energiewende einen Schritt näher, Pressemitteilung vom. <https://bit.ly/3gBbJ6b>

20 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz, a.a.O., S. 64.

21 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz, a.a.O., S. 36.

22 Bundesnetzagentur. (2020). Regulierung von Wasserstoffnetzen. Ergebnisse der Marktkonsultation. Zusammenfassung der Stellungnahmen, S. 9. <https://bit.ly/3f1ZL4Y>

23 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz, a.a.O., S. 38ff.

24 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz, a.a.O., S. 7.

25 Öko-Institut. (2021). Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland. Untersuchung für die Stiftung Klimaneutralität, S. 24, <https://bit.ly/3DjNIQn>

26 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz, a.a.O., S. 8ff.

27 Felix Matthes. (2021). Wasserstoff und wasserstoffbasierte Energieträger bzw. Rohstoffe in der Transformation zur Klimaneutralität.
<https://bit.ly/3zjz9Ve>

28 Ebd.

29 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz, a.a.O., S. 50.

30 Günter Nooke. (Persönlicher Afrikabeauftragter der Bundeskanzlerin). (2020). Grüner Wasserstoff aus der Demokratischen Republik Kongo.
<https://bit.ly/3ymwPvf>; Deutsche Welle. (2020). Inga-III: Kongolesischer Wasserstoff für Deutschland? <https://bit.ly/3jgQqsv>

31 Brot für die Welt und Ökumenisches Netz Zentralafrika. (2021). Zwangsumsiedlungen und Umweltzerstörung, Megastaudamm INGA 3 in der DR Kongo ist keine Lösung für die deutsche Energiewende, S. 5.
[https:// bit.ly/2XUoyC9](https://bit.ly/2XUoyC9)

32 Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2021). Wasserstoff im Klimaschutz, a.a.O., S. 7.

33 European Clean Hydrogen Alliance. (ohne Jahresangabe).
<https://bit.ly/2UOn7UG>

34 Nel. (2019). Status and Q&A regarding the Kjørbo incident.
<https://bit.ly/3kp3QBX>

Todos los enlaces se visitaron por última vez el 15 de julio de 2021.

Pie de imprenta

Editor: Heinrich-Böll-Stiftung e.V. Schumannstraße 8, 10117 Berlin
info@boell.de, www.boell.de, 030/285 34-0

Autora: Stefanie Groll (Heinrich-Böll-Stiftung)

Concepción y gestión: Stefanie Groll (Heinrich-Böll-Stiftung)

Con el amable apoyo de: Alexander Franke (Oficina del Consejo Consultivo Alemán de Medio Ambiente), Cora Herwartz (E3G), Felix Heilmann, Peter Kasten (Öko-Institut), Simon Gabriel Müller (Alianza por el Clima), Oliver Powalla (Liga para la Conservación de la Naturaleza), Stephan Stoll (Heinrich-Böll-Stiftung), Mira Wenzel. El autor es responsable del contenido.

Diagramación: Grafkladen Berlin

Ilustraciones: Pia Bublies

Impresión: Kern GmbH, Bexbach

Traducción al español: Mauricio Sánchez

Diagramación versión español: Rosy Botero

ISBN 978-3-86928-237-4

V.i.S.d.P.: Annette Maennel, Heinrich-Böll-Stiftung 2021

Esta obra está autorizada bajo la licencia Creative Commons CC BY-SA 4.0

Dirección para pedidos y descargas: Heinrich-Böll-Stiftung e.V.,
Schumannstraße 8, 10117 Berlin, buchversand@boell.de, www.boell.de/publikationen

 **HEINRICH BÖLL STIFTUNG**

www.boell.org