



HIDRÓGENO EN EL HORIZONTE: ¿PREPARADOS, LISTOS, YA?
**DEMANDA DE HIDRÓGENO Y
DINÁMICA DE COSTES**

ACERCA DEL

CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

El Consejo Mundial de la Energía ha estado en el centro de los debates energéticos mundiales, regionales y nacionales durante casi un siglo, desarrollando nuevas ideas e impulsando acciones eficaces en todo el mundo para lograr los beneficios de la energía sostenible para todos.

Compuesto por más de 3.000 organizaciones de casi 90 países, procedentes de gobiernos, empresas privadas y estatales, del mundo académico y de los nuevos y más diversos actores del sistema, el Consejo es la primera y única red energética verdaderamente global basada en miembros.

El Consejo trabaja de forma dinámica en todo el sector energético como una plataforma global de transiciones energéticas, y asume un liderazgo inteligente para dirigir el diálogo mundial sobre política energética, crear impacto e impulsar acciones prácticas.

El Consejo Mundial de la Energía no defiende a ningún país, empresa, tecnología o fuente de energía, sino que se compromete a ser imparcial y eficaz a la vez. Para saber más, visite www.worldenergy.org

Publicado por el Consejo Mundial de la Energía en septiembre de 2021

Copyright © 2021 Consejo Mundial de la Energía. Todos los derechos reservados. La reproducción parcial o total de esta publicación debe incluir la siguiente indicación: "Utilizado con la autorización del Consejo Mundial de la Energía".

Consejo Mundial de la Energía

Registrado en Inglaterra y Wales

No. 4184478

VAT Reg. No. GB 123 3802 48

Oficina registrada

62–64 Cornhill

London EC3V 3NH

United Kingdom

Este documento de trabajo sobre el hidrógeno forma parte de una serie de publicaciones del Consejo Mundial de la Energía alrededor de la innovación. Se ha elaborado en colaboración con el Electric Power Research Institute (EPRI) y con PwC.

El EPRI y el Gas Technology Institute (GTI) han creado la [Low-Carbon Resources Initiative \(LCRI\)](#) para abordar los retos asociados con la consecución de las profundas reducciones en emisiones de carbono en toda la economía energética. La LCRI comprende la cadena de valor de los vectores energéticos alternativos y combustibles bajos en carbono -como el hidrógeno, el amoníaco, los biocombustibles (incluido el gas natural renovable) y los combustibles sintéticos-; así como en la investigación, desarrollo y demostración para permitir su producción, almacenamiento, suministro y uso en toda la economía energética. Estos vectores energéticos/ combustibles son necesarios para facilitar la descarbonización de la economía a mediados de siglo. Esta iniciativa de cinco años de duración identificará y acelerará el desarrollo fundamental de tecnologías prometedoras; demostrará y evaluará el rendimiento de tecnologías y procesos clave, identificando vías para posibles mejoras; e informará a las partes interesadas clave y al público sobre las opciones tecnológicas y las posibles vías hacia un futuro bajo en carbono.

PwC es una red de firmas con presencia en 155 países y más de 284.000 profesionales comprometidos con la prestación de servicios de asesoramiento y fiscalidad de calidad, incluidos más de 20.000 profesionales dedicados a los sectores de energía, recursos naturales y servicios públicos. Con su estrategia global, The New Equation, PwC responde a los retos que conforman el mundo actual, centrándose en la generación de confianza y la obtención de resultados sostenibles que creen valor para las organizaciones, sus grupos de interés y la sociedad en general. El cambio climático es uno de los problemas más acuciantes del mundo, y PwC se ha comprometido a alcanzar la neutralidad en sus emisiones netas de gases de efecto invernadero para 2030 y está colaborando con las organizaciones mundiales para acelerar su transformación climática. PwC y el Consejo Mundial de la Energía tienen el objetivo común de promover la transición energética y la sostenibilidad mediante el compromiso con los responsables políticos y los principales actores de la industria. Nuestro punto de vista compartido es que la transición energética y la sostenibilidad se logran mediante la interacción de marcos políticos sólidos y una industria energética fuerte y competitiva. [Más información sobre PwC.](#)

En una era de cambios rápidos y disruptivos, este documento de trabajo tiene como objetivo facilitar el intercambio estratégico de conocimientos entre los miembros del Consejo, grupos de interés del sector energético y reguladores para contribuir a un diálogo global sobre el papel del hidrógeno en las transiciones energéticas.

Este documento de trabajo se basa en un trabajo previo del Consejo y ha exigido una amplia investigación sobre los desarrollos de las estrategias nacionales, así como entrevistas con 38 expertos de 23 países, que representan el 61 % de la energía primaria (datos de 2018, OCDE) y el 70 % del PIB mundial (datos de 2019, BM).

INTRODUCCIÓN

El Consejo Mundial de la Energía, en colaboración con el EPRI y PwC, tiene como objetivo proporcionar a la comunidad energética de una mejor comprensión del desarrollo del hidrógeno en todo el mundo, aprovechando los conocimientos y la experiencia de su red mundial. En este contexto, en julio de 2021 publicamos un nuevo informe sobre el hidrógeno, con el que pretendíamos iniciar un diálogo comunitario con los múltiples agentes interesados sobre el papel del hidrógeno en la transición energética:

Nuestro trabajo ha identificado las siguientes 4 temas principales en los que profundizar:

- 1 Están surgiendo divergencias significativas entre países y regiones**, ya que las estrategias nacionales sobre el hidrógeno revelan actitudes diferentes en relación con su papel en las transiciones energéticas. Esto indica la necesidad de aceptar la diversidad -eliminando la mentalidad de talla única- y de permitir que se exploren diferentes tecnologías y casos de uso.
- 2 La confusión en torno a los “colores” está ahogando la innovación**, ya que la simplificación excesiva y los prejuicios cromáticos provocan el riesgo de excluir prematuramente algunas vías tecnológicas que podrían ser más rentables y eficaces para el abatimiento de emisiones de carbono. Es necesario un mayor diálogo que vaya más allá del color para explorar también el impacto en reducciones de emisiones de carbono.
- 3 Las estrategias del hidrógeno centradas en la demanda son necesarias para avanzar en la agenda de Humanización de la Energía**. El debate actual sobre el hidrógeno se centra en gran medida en la oferta, ignorando el papel de los usuarios y consumidores de hidrógeno. Los debates deben explorar lo que se necesita para desencadenar y fomentar la demanda, con un enfoque específico en el desarrollo de la infraestructura y la cadena de suministro global de hidrógeno.
- 4 La economía del hidrógeno podría estimular la creación de puestos de trabajo y el crecimiento económico**, contribuyendo potencialmente a cumplir los objetivos de recuperación económica después del COVID-19. Varias estrategias nacionales sobre el hidrógeno destacan que el empleo es un motor importante del desarrollo del hidrógeno, con oportunidades para volver a capacitar tanto a la mano de obra existente como a la nueva.

Para contribuir al diálogo sobre estos cuatro temas, estamos publicando una serie de documentos de trabajo en tres partes para los elaboran las hojas de ruta del hidrógeno, que proporcionan información adicional sobre

- Estrategias nacionales de hidrógeno;
- Reflexiones de líderes en el sector;
- Dinámicas de demanda y costes del hidrógeno.

Este documento de trabajo se centra en la dinámica de la demanda de hidrógeno y la evolución de sus costes.

1. DINÁMICA DE LA DEMANDA DE HIDRÓGENO

Se está debatiendo si el hidrógeno puede ser una solución importante para cumplir con los objetivos climáticos de París, ya que puede ser un combustible limpio, una materia prima y un reactivo para muchos procesos que requieren mucha energía, y también para el transporte. Sin embargo, los posibles caminos de la demanda de hidrógeno hasta el año 2050 pueden variar en función del desarrollo de tecnologías complementarias, como la eficiencia energética, la electrificación, la captura de carbono y las propias tecnologías del hidrógeno. Este análisis pretende arrojar luz sobre las diferentes trayectorias de demanda y costes del hidrógeno mediante el estudio de varios informes y escenarios energéticos.

1.1 EL USO DE HIDRÓGENO

La mayoría de los estudios analizados se centran en el uso de hidrógeno procedente de fuentes de producción con bajas emisiones de carbono, lo que se ajusta en parte a sus correspondientes estrategias nacionales. Algunos países o regiones (por ejemplo, la UE) se inclinan por el hidrógeno producido principalmente a partir de fuentes de energía renovables como parte de sus planes para reducir las emisiones de CO₂ (véase el documento de trabajo Estrategias nacionales sobre el hidrógeno). Otras naciones, como los países del Golfo o los países importadores de energía, con contextos diferentes (por ejemplo, acceso a gas natural de bajo coste, abiertos al uso de tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ - CAC) y objetivos políticos adicionales, como la reducción de la contaminación atmosférica en las ciudades, consideran más formas de hidrógeno con bajas emisiones de carbono. Además, algunos estudios y estrategias nacionales pretenden ampliar inicialmente el mercado del hidrógeno combinando las vías de producción de hidrógeno con tecnologías CAC para establecer primero la infraestructura necesaria antes de explorar otras vías o junto a ellas.

El desglose de la demanda de hidrógeno por sectores puede variar mucho. Esto se refleja en la importante variación de las cifras presentadas en los distintos informes cuando se analizan las proyecciones de uso de hidrógeno limpio por sector. En la actualidad, la atención parece centrarse en la industria, el transporte y la energía, mientras que existen grandes incertidumbres en torno al uso del hidrógeno en los edificios. Lamentablemente, los 13 escenarios globales analizados en este informe no contienen desgloses sectoriales coherentes y comparables.

1.2 PROYECCIONES DE LA DEMANDA DE HIDRÓGENO

Las proyecciones de la demanda de hidrógeno varían significativamente debido a las diferentes hipótesis subyacentes¹ sobre los objetivos de descarbonización. Hemos analizado las estimaciones de la demanda mundial de hidrógeno de 8 fuentes diferentes, con un total de 13 escenarios. Aunque hay otros escenarios de hidrógeno disponibles, proporcionan menos detalles o sólo cubren sectores o países específicos, por lo que no se han incluido.

METODOLOGÍA

El informe analiza y compara las proyecciones de demanda de hidrógeno de 13 escenarios de 8 informes diferentes (ver detalles en el Anexo 1), agrupando cada escenario en una de las tres trayectorias siguientes: baja, media y alta. Las categorías se definen según su nivel de ambición para contener el aumento de la temperatura global que se sugiere en cada informe. Se pueden hacer las siguientes asociaciones:

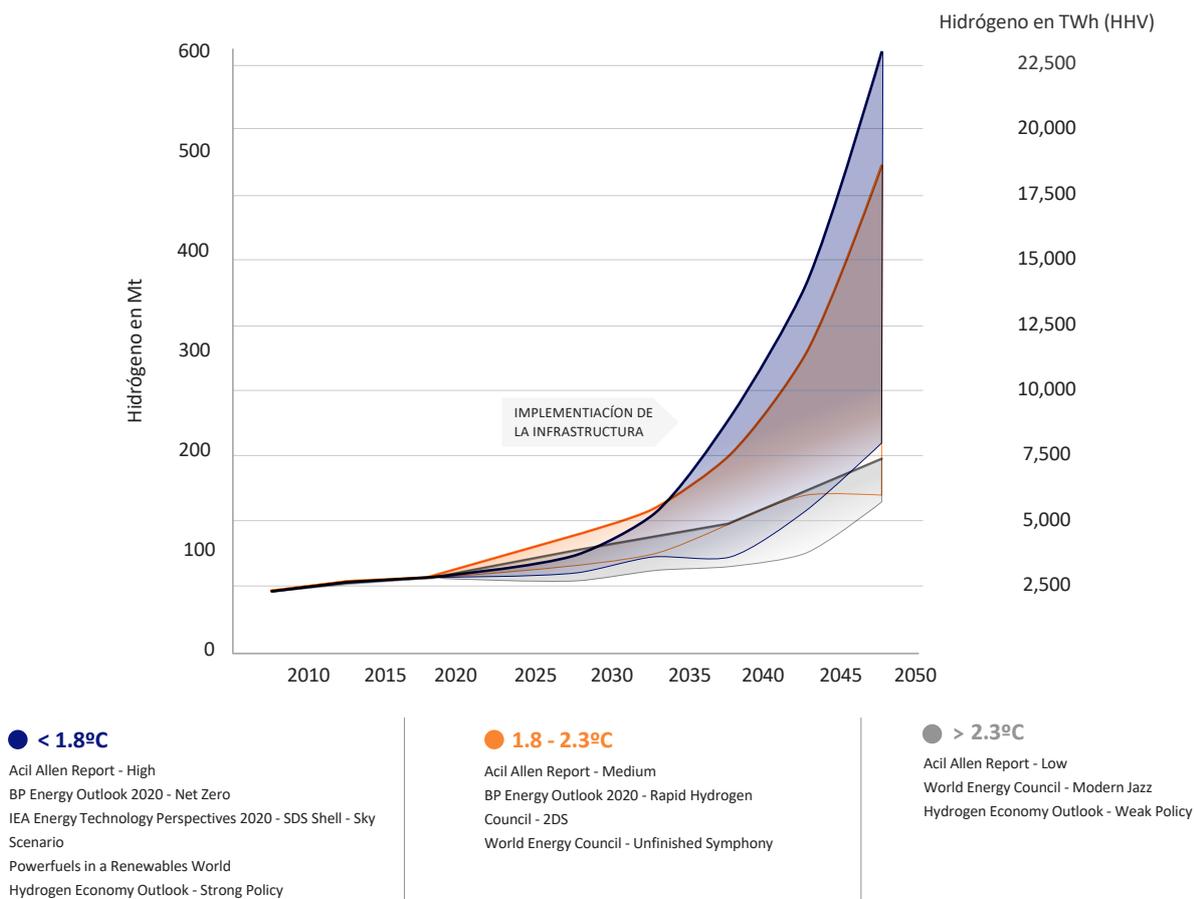
- Trayectoria de ambición baja: calentamiento global >2,3°C
- Trayectoria de ambición media: calentamiento global de 1,8-2,3°C
- Trayectoria de ambición alta: calentamiento global <1,8°C.

Aunque los detalles de cada escenario varían en cierta medida, el análisis ayuda a mostrar los patrones generales de la evolución de la demanda. Sin embargo, hay que señalar que esto es sólo una agrupación de los 16 escenarios analizados y que otros escenarios energéticos podrían no entrar en las tres trayectorias definidas.

Una vez agrupados los escenarios, este informe analiza las trayectorias de crecimiento medio de la demanda mundial de hidrógeno. Debido a las diferencias en las hipótesis de los escenarios analizados, se ha calculado la desviación estándar para cada trayectoria. La desviación estándar se eligió para mostrar el margen superior e inferior de la media del escenario con el objetivo de ayudar a compararlos y ajustar las posibles variaciones en los supuestos mencionados. Por lo tanto, algunas de las cantidades de hidrógeno superiores e inferiores proporcionadas en los informes originales no aparecen en esta comparación.

¹ Ver detalles en anexo 1.

Figura 1. Evaluación de la demanda de hidrógeno para 2050



Fuente: Consejo Mundial de la Energía

La comparación presenta una limitación porque los insumos energéticos, como la electricidad renovable o el gas, no están claramente definidos y muchos de los supuestos subyacentes no están detallados.

1.3 EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE HIDRÓGENO A LARGO PLAZO

Evidentemente, en función de las hipótesis (véase el anexo 1 para las diferentes hipótesis), el análisis reveló una amplia gama de escenarios futuros sobre la demanda de hidrógeno. Un tema común es que todas las estimaciones prevén un crecimiento limitado pero constante de la demanda de hidrógeno hasta 2030. Esto puede deberse a varias razones. En primer lugar, los proyectos de hidrógeno en construcción y en funcionamiento en la actualidad se encuentran, a pesar de sus crecientes capacidades, casi exclusivamente, en fase pre comercial y tienen capacidades limitadas de electrolizadores, normalmente muy por debajo de los 50 MW. Las plantas de producción propuestas tienen capacidades de electrolizadores más grandes, de más de 100 MW, pero siguen siendo relativamente pequeñas en comparación con las capacidades de producción de las actuales plantas de hidrógeno de base fósil, principalmente gris. En segundo lugar, la creación de infraestructuras para el uso de hidrógeno a gran escala, como ductos o terminales de exportación e importación, lleva muchos años. Por ejemplo, puede suponer hasta 12 años planificar y construir un gasoducto de gas natural, y hasta 10 años construir una terminal de GNL. El tiempo para implantar la infraestructura del hidrógeno tendría una duración similar. En un mundo ideal, la infraestructura necesaria se construiría en paralelo a la creciente demanda de hidrógeno y a la disminución de los costes para garantizar que en 2030 el hidrógeno pueda comercializarse y transportarse en las cantidades necesarias.

Después de 2030, los escenarios de mayor ambición ven una mayor demanda de hidrógeno con otro fuerte aumento a partir de 2035. Esto está en consonancia con el tiempo necesario para desarrollar la infraestructura, cuya planificación comienza ahora para alcanzar los objetivos de hidrógeno y el crecimiento de la demanda previstos después de 2030.

"El hidrógeno como almacenamiento de energía a gran escala puede permitir una mayor penetración de las energías renovables intermitentes, y el hidrógeno fabricado a partir de combustibles fósiles en los que el carbono se secuestra en el punto de extracción puede permitirnos aprovechar esos recursos energéticos incluso mientras nos centramos agresivamente en la descarbonización del sistema energético general."

SABINA RUSSEL, ZEN CLEAN ENERGY SOLUTIONS, CANADA

1.4 LA DEMANDA DE HIDRÓGENO SE RELACIONA CON LOS OBJETIVOS DE TEMPERATURA

Las cifras de demanda de hidrógeno estimadas para 2050 varían significativamente, oscilando entre 150 y 600 Mt. Los mayores volúmenes de hidrógeno son necesarios para alcanzar objetivos climáticos más ambiciosos, aunque las diferencias de demanda entre las categorías de temperatura indicadas no sean tan significativas como se espera. Los diferentes escenarios de estimaciones de la demanda de hidrógeno se deben a las diferentes hipótesis subyacentes sobre las tecnologías utilizadas, por ejemplo, el uso continuado del gas natural, las mejoras de la eficiencia, la electrificación directa o el uso de tecnologías CAC. Los escenarios de objetivos climáticos más ambiciosos requieren una mayor demanda de hidrógeno para 2050, estimando que oscila entre 200 y 600 Mt. La mayor ambición climática parece tener una mayor demanda de hidrógeno en los sectores cuyas emisiones son difíciles de reducir, como el acero o los productos químicos, sustituyendo el hidrógeno gris actual y creando una nueva demanda en otras aplicaciones/productos. Los escenarios con ambiciones climáticas medias identifican un rango entre 160 y 490 Mt para 2050, con un crecimiento medio de alrededor de 330 Mt. Los escenarios menos ambiciosos sólo ven un crecimiento pequeño y casi lineal de la demanda de hidrógeno con el uso continuado del gas natural, y estiman que variará entre 150 y 200 Mt en 2050.

2. EVOLUCIÓN DE LOS COSTES DEL HIDRÓGENO

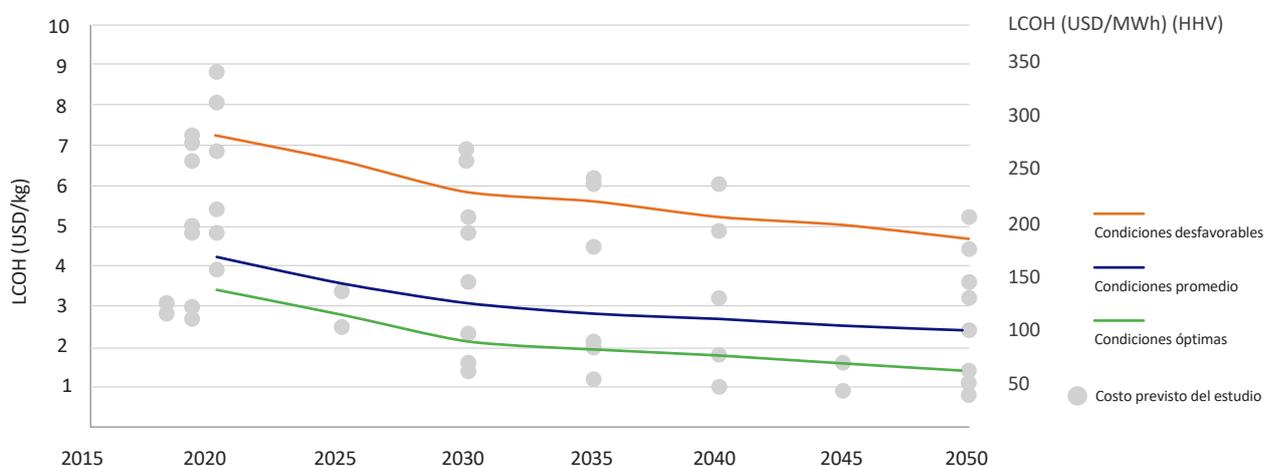
El coste del hidrógeno futuro será decisivo para su adopción en los distintos sectores finales. Se observan importantes diferencias de costes energéticos entre los distintos sectores, pero también dentro de ellos. El coste del hidrógeno para el usuario final estará condicionado por los precios de producción y distribución. Muchas de las tecnologías de producción son todavía nuevas, por lo que las curvas de aprendizaje y los efectos de escala pueden contribuir a reducir los futuros costes. Al mismo tiempo, muchos expertos creen que una importante expansión de las energías renovables, como la solar y la eólica, podría reducir el coste de la electricidad renovable, lo que se considera un importante motor para la expansión del hidrógeno en el sistema energético. Por otra parte, los países con exceso de capacidades renovables considerarán el hidrógeno limpio como una forma de evitar las restricciones en generación (curtailment). Esto depende en gran medida del contexto del país. Se prevé que el precio del CO₂ sea un factor fundamental para la adopción del hidrógeno, al reducir la diferencia de costes con los combustibles alternativos de mayor CO₂. También es probable que la combinación de los precios del CO₂ y la abundancia de electricidad renovable pueda promover la producción de hidrógeno por electrólisis.

Es probable que los costes de distribución del hidrógeno que cubren el almacenamiento y el transporte sean considerables y puedan limitar el crecimiento. La distribución de hidrógeno como líquido en forma de amoníaco podría permitir la reutilización de algunas infraestructuras petroleras existentes para reducir los costes, mientras que los gasoductos de gas natural podrían reutilizarse para distribuir hidrógeno en forma gaseosa.

2.1 MÉTODO DE CÁLCULO DE COSTES

Para identificar los costes de producción del hidrógeno renovable futuros, se analizó otro conjunto de 6 informes adicionales con un total de 16 escenarios diferentes de precios de producción de hidrógeno previstos². La mayoría de los informes incluían diferentes escenarios de desarrollo de precios en relación con las condiciones de producción, siendo el precio de la electricidad y las horas de carga completa del electrolizador las que más influyen. A partir de ahí, se desarrollaron 3 escenarios diferentes, que indican el rango en el que es probable que se sitúe el precio futuro del hidrógeno renovable.

Figura 2. Dinámica de los costes del hidrógeno renovable para 2050



Fuente: Consejo Mundial de la Energía

² Agora (2020). Klimaneutrales Deutschland. | Greenpeace Energy (2020). Blauer Wasserstoff. | Deutscher Bundestag (2020). Kosten der Produktion von grünem Wasserstoff. | Hydrogen Council x McKinsey & Company (2021). Hydrogen Insights. | Strategy& (2020). The dawn of green hydrogen. | DOE Hydrogen (2020). Hydrogen Production Cost From PEM Electrolysis.

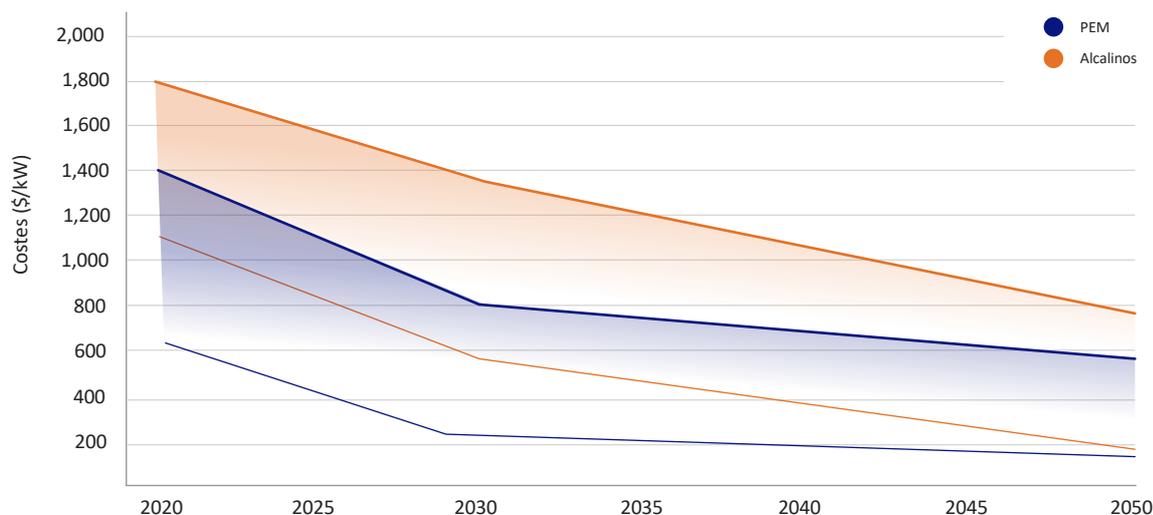
2.2 DINÁMICA DE LOS COSTES DE PRODUCCIÓN A NIVEL MUNDIAL: SE PREVÉ UN FUERTE DESCENSO DE LOS PRECIOS

En la actualidad, el precio de producción del llamado "hidrógeno verde" oscila globalmente entre 2,7 y 8,8 dólares/kg, y todos los estudios prevén un importante descenso del precio para 2030 hasta una horquilla de 2-6 dólares/kg debido a la caída de los costes de la electricidad renovable y a que las tecnologías del hidrógeno siguen una curva de aprendizaje con mejoras tecnológicas y economías de escala. En el caso del hidrógeno verde, los gastos de explotación (OPEX) están directamente vinculados a los precios de la electricidad renovable, por lo que son los principales impulsores de la reducción de los costes de producción. Se prevé que éstos disminuyan aún más, ya que la electricidad solar ya ha alcanzado costes nivelados por debajo de los 17,5 dólares/MWh. En cuanto a los gastos de capital (CAPEX), se espera que el coste de inversión de los electrolizadores disminuya significativamente con el tiempo a medida que las economías de escala y su producción se racionalicen en el futuro. Con las mejoras tecnológicas adicionales y la implantación de proyectos, el coste de la producción de hidrógeno azul también disminuirá.

Para 2050, los estudios estiman un rango de precios de entre 1,5 y 5 dólares/kg, y algunos esperan un costo de 1 dólar/kg o inferior para el hidrógeno verde en países con excelentes recursos renovables. Sin embargo, habrá diferencias significativas entre países y lugares de producción que dependerán del precio de la electricidad renovable, siendo la producción más barata en países como Australia o Chile, que tienen menores costes de electricidad renovable y, por asociación, mayor capacidad para el electrolizador.

Es necesario seguir trabajando para entender los diferentes costes de producción del hidrógeno, cuánto podrían o están dispuestos a pagar por el hidrógeno las diferentes partes interesadas, así como las emisiones de CO₂ de las diferentes fuentes de producción y el precio del CO₂ necesario para que la producción de hidrógeno con bajas emisiones de carbono sea más atractiva desde el punto de vista económico.

Figure 3. Trayectorias de costes de los electrolizadores hasta 2050



Fuente: Consejo Mundial de la Energía*

La reducción de los costes de hardware también es importante. La estandarización y la producción en masa, así como los aprendizajes de los proyectos, reducirán el precio de los electrolizadores, los sistemas de captura de carbono, el equipo de equilibrio de la planta y los costes generales de construcción. La figura 3 muestra las posibles trayectorias de los costes de los electrolizadores de las dos principales tecnologías actuales, que son los electrolizadores alcalinos y los PEM. Además, el aumento de la capacidad de los proyectos de hidrógeno con bajas emisiones de carbono hará que los costes de producción sigan disminuyendo. Con la importante investigación en curso, se espera que las mejoras tecnológicas reduzcan aún más los costes de producción, mientras que el aumento del número de proyectos también disminuirá los costes de financiación.

“Para bajar el coste de las tecnologías del hidrógeno, no necesitamos nuevas innovaciones, sino la producción en masa.” A.J.M. VAN WIJK, TU DELFT, PAISES BAJOS.

ESCENARIOS DE DEMANDA DE HIDRÓGENO

	Acil Allen Report	BP Energy Outlook 2020	Hydrogen Economy Outlook	Hydrogen Council – 2DS	IEA	Powerfuels in a Renewables World	Shell – Sky scenario	World Energy Council
Estimaciones de la demanda total de hidrógeno (Mt)	<p>Alto: - 2030: 93 - 2040: 161 - 2050: 401</p> <p>Medio: - 2030: 84 - 2040: 113 - 2050: 213</p> <p>Bajo: - 2030: 77 - 2040: 94 - 2050: 148</p>	<p>Cero neto: - 2030: 104 - 2040: 282 - 2050: 560</p> <p>Rápido: - 2030: 102 - 2040: 173 - 2050: 284</p>	<p>Política fuerte: - 2030: N/A - 2040: N/A - 2050: 696</p> <p>Política débil: - 2030: N/A - 2040: N/A - 2050: 187</p>	<p>- 2030: 111 - 2040: 201 - 2050: 567</p>	<p>Perspectivas Tecnológicas de la Energía (ETP) 2020</p> <p>- SDS: - 2030: 90 - 2040: 135 - 2050: 290</p> <p>Net Zero Scenario: - 2030: 212 - 2040: 391 - 2050: 528</p>	<p>- 2030: 86 - 2040: 164 - 2050: 346</p>	<p>- 2030: 80 - 2040: 94 - 2050: 149</p>	<p>Unfinished symphony: - 2030: 117 - 2040: 164 - 2050: 228</p> <p>Modern Jazz: - 2030: 99 - 2040: 125 - 2050: 185</p>
Ruta de producción de hidrógeno		Hidrógeno Verde, Azul y Gris			<p>ETP 2020: Electricidad, Fósil con CCUS, Refinería CNR, Fósil con o sin CCUS</p> <p>Escenario Cero Neto: Combustibles Fósiles, Refinería CNR, con CCUS, Electricidad, Biomasa</p>	Hidrógeno Verde		
Proyección de la demanda por aplicación	Transporte, calefacción y refrigeración de espacios, sector eléctrico	Electricidad, Edificios, Transporte, Industria	Edificios, Electricidad, Industria, Transporte	Edificios, Electricidad, Industria, Transporte, Sistema de energía	Escenario Cero Neto: Transporte (marítimo, por carretera, aéreo), Siderúrgica, Productos químicos		Industria (pesada, ligera), Transporte (por carretera, aéreo, marítimo)	
Ambición de limitar el calentamiento global	<p>Alta: un 50% de posibilidades de limitar el pico de temperatura global (temp.) a entre 1,5-2°C</p> <p>Media: un 50% de posibilidades de limitar el pico de temperatura global a 2°C</p> <p>Baja: 50% de posibilidades de limitar el pico de Temperatura global entre 2-4°C</p>	<p>Cero neto: limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C por encima de los niveles Preindustriales</p> <p>Rápido: limitar el aumento de la temperatura a menos de 2°C por encima de los niveles preindustriales</p>	<p>Política fuerte: El H2 suministra 27EJ de energía en la economía mundial, satisfaciendo el 4% de las necesidades energéticas finales previstas en 2050 o el 7% en el escenario de 1,5°C</p> <p>Política débil: El suministro de H2 representa 99EJ de energía en la economía mundial, y satisface el 15% de las necesidades energéticas finales previstas para 2050 o el 24% en el escenario de 1,5°C.</p>	Limitar el calentamiento global a 2°C	<p>ETP 2020: mantener el aumento de la temperatura por debajo de 1,8°C con una probabilidad del 66% sin depender de las emisiones globales netas negativas de CO₂</p> <p>Escenario Cero Neto: 50% de probabilidades de limitar el aumento de la temperatura a 1,5°C</p>	Alcanzar los objetivos del Acuerdo de París de lograr cero emisiones de GEI del sector energético para 2050	Limitar el aumento de la temperatura media mundial por debajo de los 2 °C con respecto a los niveles preindustriales	<p>Unfinished symphony: <2.3°C confirmado con los autores del estudio</p> <p>Modern Jazz: >2.3°C confirmado con los autores del estudio</p>

Fuente: Consejo Mundial de la Energía*

BIBLIOGRAFÍA

Agora, 2020. Klimaneutrales Deutschland, Berlin: Klimaneutral Druckprodukt. Allen, A., 2018. Opportunities for Australia from Hydrogen Exports, Sydney: ARENA.

BP, 2021. Hydrogen. [Online]

Available at: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook/demand-by-fuel/hydrogen.html> [Accessed 11 May 2021].

Bukold, D. S., 2020. Blauer Wasserstoff, s.l.: Greenpeace Energy.

Deutscher Bundestag, 2020. Kosten der Produktion von grünem Wasserstoff, Berlin: Deutscher Bundestag.

Hydrogen Council, 2020. Projected global demand for hydrogen in a +2 degree Celsius global warming scenario from 2015 to 2050. [Online]

Available at: <https://www.statista.com/statistics/435467/hydrogen-demand-worldwide/>

Hydrogen Council, 2021. Hydrogen Insights, A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness, s.l.: Hydrogen Council.

IEA, 2019. The Future of Hydrogen, Paris: IEA.

IEA, 2020. Energy Technology Perspectives 2020, Paris: IEA.

IRENA (2019), Hydrogen: A renewable energy perspective, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

Kombargi, Dr. Raed; Elborai, Dr. Shihab; Anouti, Dr. Yahya; Hage, Ramzi, 2020. The dawn of green hydrogen, Abu Dhabi: Strategy&.

Mayyas, A. T. et al., 2019. Manufacturing Cost Analysis for Proton Exchange Membrane Water Electrolyzers, United States: National Renewable Energy Laboratory (NREL).

Peterson, D., Vickers, J. & DeSantis, D., 2020. Hydrogen Production Cost From PEM Electrolysis, Washington D.C.: DOE Hydrogen.

Shell, 2021. Shell - Sky Scenario. [Online]

Available at: <https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energy-future/scenarios/shell-scenario-sky.html>

World Energy Council, 2019. World Energy Scenarios, London: World Energy Council.

AGRADECIMIENTOS

GESTIÓN DE PROYECTO

Dra. Angela Wilkinson (Secretary General & CEO), Neil Hughes (International Executive Director, EPRI), Jeroen van Hoof (Global Power & Utilities Leader, Partner, PwC Netherlands), Martin Young (Senior Director, Insights), Clíodhna O'Flaherty-Mouscadet (Senior Manager, Partners), Gina Domanig (Innovation Executive Co-chair), Richard Lancaster (Innovation Executive Co-chair), Sam Muraki (Vice Chair of Asia Pacific and South Asia), Jeffery Preece (Senior Program Manager, EPRI), Adj. Prof. Dr. Juergen Peterseim (Global H2 industry lead, PwC), Dra. Olesya Hatop (Global Clients & Markets Industry Executive, PwC), Anil Khurana (Global Industrial Manufacturing and Automobile Leader, PwC), Richard Abadie (Global Capital Projects & Infrastructure Leader, PwC), Yvonne Welsh (Senior Manager, PwC).

EQUIPO DE PROYECTO

Lucie Togni, Rami Fakhoury, Aaliya Deen, Joseph Stekli, Florian Schäfer, Nils Babenhauserheide, Moritz Zahn, Carlo Steinbach.

COMITÉ DE ESTUDIOS DEL CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

Leonhard Birnbaum (Chair, Alemania), Martin Young (Secretary, Consejo Mundial de la Energía), Alejandro Perroni (Uruguay), Andrea Heins (Argentina), Andrea Maria Quaggia (Italia), Andrey Logatkin (Federación Rusa), Atul Sobti (India), Barış Sanlı (Turquía), Berardo Guzzi (Italia), Burkhard Von Kienitz (Alemania), Claudio Huepe Minoletti (Chile), Edouard Sauvage (Francia), François Dassa (Francia), Hans-Wilhelm Schiffer (Alemania), Herwig Klima (Austria), Jean-Baptiste Galland (Francia), Jeanne Chi Yun Ng (Hong Kong), Joseph Al Assad (Líbano), Juan Benavides (Colombia), Kambiz Rezapour (República Islámica de Irán), Katerin Osorio Vera (Colombia), Klaus Hammes (Suecia), Lawrence Ezemonye (Nigeria), Mamadou Diarra (Niger), Mehdi Sadeghi (República Islámica de Irán), Miguel Pérez de Arce (Chile), Muna Ahmad Almooodi (Emiratos Árabes Unidos), Nalin Shinghal (India), Rebecca Yuen (Hong Kong), Stefan Gheorghie (Rumanía), Tina Schirr (Nueva Zelanda), Tom Kober (Suiza), William D'haeseleer (Bélgica), Yanbing Kang (China), Yongping Zhai (China), Yuji Matsuo (Japón).

MIEMBROS DEL GRUPO DE TRABAJO DEL CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

Abdulkareem Almutairi (Arabia Saudí), Alan Sakar (México), Aman Verma (Canadá), Ana Ángel (Colombia), Ana Sousa (Portugal), Andrew Clennett (Nueva Zelanda), Andrey Logatkin (Federación Rusa), Ángel Landa Ugarte (España), Angela Ogier (Nueva Zelanda), Ardit Cami (Bélgica), Ashutosh Shastri (Reino Unido), Baldur Pétursson (Islandia), Bartłomiej Kolodziejczyk (Australia), Bassem Mneymne (Qatar), Brock King (Canadá), Burkhard Von Kienitz (Alemania), Carlos Navas Pérez (España), Charles Chibambo (Malawi), Christian Diendorfer (Austria), Christoph Schäfers (Alemania), Daða Þorstein Sveinbjörnsson (Islandia), Daniel Gnoth (Nueva Zelanda), Daniel Kroos (Austria), David Eduardo Peña (Colombia), Diego Oroño (Uruguay), DMR Panda (India), Egor Kvyatkovsky (Federación Rusa), Elena Pashina (Federación Rusa), Esam Al Murawwi (Emiratos Árabes Unidos), Francisco Imperatore (Argentina), Gabriel Guggisberg (Chile), Gassem Fallatah (Arabia Saudí), Gintaras Adzgauskas (Lituania), Hans-Wilhelm Schiffer (Alemania), Hiroyuki Takeuchi (Japón), James Tyrrell (Australia), Jean-Eudes Moncomble (Francia), Jón B. Skúlason (Islandia), Jose Caceres Blundi (Suiza), Juan Celis (Colombia), Ken Gafner (Sudáfrica), Leo Jansons (Letonia), Lucia Fuselli (Luxemburgo), Luis-Martín Krämer (Alemania), María José González (Uruguay), Mariya Trifonova (Bulgaria), Martín Scarone (Uruguay), Massimiliano Cervo (Argentina), Mohamed El Gohary (Egipto), Nabil Bouraoui (Túnez), Nabil Jedaira (Marruecos), Nii Ahele Nunoo (Estados Unidos), Nikola Tomasovic (Serbia), Nishant Kumar Sharma (India), Nujood Almulla (Arabia Saudí), Ola Abdelmoteleb (Egipto), Olawale Adenuga (Nigeria), Olga Frolova (Federación Rusa), Oskar Sigvaldason (Canadá), Pedro Ernesto Ferreira (Portugal), Rainer Block (Alemania), Rajneesh Agarwal (India), Renata Viggiano (Italia), Roberto Bencini (Italia), Russell Pendlebury (Australia), Sebastian Veit (Alemania), Shane Gowan (Nueva Zelanda), Takahiro Nagata (Japón), Theodor Zillner (Austria), Tina Schirr (Nueva Zelanda), Tom Meares (Australia), Víctor Andrés Martínez (Panamá), Victorio Oxilia (Paraguay), Vikas Meena (India), Vytautas Keršiusis (Lituania), William D'haeseleer (Bélgica), Wilson Sierra (Uruguay), Yena Chae (República de Corea), Zlata Sergeeva (Federación Rusa).

También queremos agradecer a Pam Hurley, Ana Angel, Takahiro Nagata, Maira Kusch y Nicole Kaim su valiosa ayuda.

* Cifras y tabla elaboradas por PwC en el marco de una colaboración entre el Consejo Mundial de la Energía, PwC y el EPRI.

TRUSTEES

JEAN-MARIE DAUGER
Chair

KLAUS-DIETER BARBKNECHT
Vice-Chair – Finance

MIKE HOWARD
Vice Chair – Innovation

LEONHARD BIRNBAUM
Chair – Studies Committee

ELHAM MAHMOUD IBRAHIM
Vice Chair – Africa

OLEG BUDARGIN
Vice Chair – Congress, 2022

SHIGERU MURAKI
Vice Chair – Asia Pacific/South Asia

CLAUDIA CRONENBOLD
Vice Chair – Latin America/Caribbean

IBRAHIM AL-MUHANNA
Vice Chair – Gulf States/Middle East

ALEXANDRE PERRA
Vice Chair – Europe

JOSÉ ANTONIO VARGAS LLERAS
Chair – Programme Committee

OMAR ZAAFRANI
Chair – Communications & Strategy Committee

ANGELA WILKINSON
Secretary General & CEO

PATRONOS DEL CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

California ISO

EDF

ENGIE

Gazprom

Oliver Wyman

PwC

Rosseti

Rosatom

Tokyo Electric Power Co

COMITÉS MIEMBROS DEL CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA

<u>Argelia</u>	<u>Hungría</u>	<u>Panamá</u>
<u>Argentina</u>	<u>Islandia</u>	<u>Paraguay</u>
<u>Armenia</u>	<u>India</u>	<u>Polonia</u>
<u>Austria</u>	<u>Indonesia</u>	<u>Portugal</u>
<u>Bahrain</u>	<u>Irán (Rep. Islámica)</u>	<u>Rumanía</u>
<u>Bélgica</u>	<u>Irlanda</u>	<u>Federación Rusa</u>
<u>Bolivia</u>	<u>Italia</u>	<u>Arabia Saudí</u>
<u>Bosnia & Herzegovina</u>	<u>Japón</u>	<u>Senegal</u>
<u>Botswana</u>	<u>Jordania</u>	<u>Serbia</u>
<u>Bulgaria</u>	<u>Kazakistán</u>	<u>Singapur</u>
<u>Camerún</u>	<u>Kenia</u>	<u>Eslovenia</u>
<u>Chile</u>	<u>Corea (Rep.)</u>	<u>España</u>
<u>China</u>	<u>Kuwait*</u>	<u>Sri Lanka</u>
<u>Colombia</u>	<u>Letonia</u>	<u>Suecia</u>
<u>Congo (Dem. Rep.)</u>	<u>Líbano</u>	<u>Switzerland</u>
<u>Côte d'Ivoire</u>	<u>Lithuania</u>	<u>Siria (Rep. Arab.)</u>
<u>Croacia</u>	<u>Malta</u>	<u>Tailandia</u>
<u>Chipre</u>	<u>México</u>	<u>Trinidad & Tobago</u>
<u>República Dominicana</u>	<u>Mónaco</u>	<u>Túnez</u>
<u>Ecuador</u>	<u>Mongolia</u>	<u>Turquía</u>
<u>Egipto</u>	<u>Morocco</u>	<u>Emiratos Árabes Unidos</u>
<u>Estonia</u>	<u>Namibia</u>	<u>Estados Unidos</u>
<u>eSwatini (Swazilandia)</u>	<u>Nepal</u>	<u>Uruguay</u>
<u>Etiopía</u>	<u>Holanda</u>	<u>Vietnam*</u>
<u>Finlandia</u>	<u>Nueva Zelanda</u>	
<u>Francia</u>	<u>Niger</u>	
<u>Alemania</u>	<u>Nigeria</u>	
<u>Grecia</u>	<u>Noruega</u>	
<u>Hong Kong, China SAR</u>	<u>Pakistán</u>	

* A la espera de la aprobación de los miembros

62–64 Cornhill
London EC3V 3NH
United Kingdom
T (+44) 20 7734 5996
F (+44) 20 7734 5926
E info@worldenergy.org

www.worldenergy.org | @WECouncil