

Calefacción con hidrógeno: revisión de la evidencia científica

Jan Rosenow

Introducción

La energía utilizada para la calefacción y refrigeración representa alrededor del 50% del consumo total de energía en el mundo.¹ De esta cifra, casi la mitad se consume para calentar edificios. Y la mayor parte de la energía utilizada se obtiene de combustibles fósiles.²

Por lo tanto, es evidente que, sin una descarbonización total de la calefacción de espacios interiores y del agua caliente, los objetivos de cero emisiones netas de gases de efecto invernadero no son alcanzables. La mayoría de los análisis coinciden en que, independientemente de los combustibles utilizados, una medida importante para reducir las emisiones de los edificios es la mejora de su estructura mediante medidas de eficiencia energética.³ Pero sigue existiendo una gran demanda residual de energía para calefacción incluso después de mejorar la eficiencia energética.⁴ La cuestión es qué tecnologías pueden proporcionar una calefacción con cero o muy bajas emisiones de carbono.

Los representantes de la industria del gas y de la calefacción han promovido el hidrógeno con bajas o nulas emisiones de carbono como solución clave para sustituir al gas fósil en la red de distribución.⁵ En los últimos dos o tres años, los medios de comunicación le han prestado gran atención y ha figurado en algunas de las numerosas estrategias nacionales sobre el hidrógeno lanzadas recientemente.⁶

¹ Partes de este informe ya han aparecido en un documento anterior. Véase: Rosenow, J. (2022, September). Is heating homes with hydrogen all but a pipe dream? An evidence review. *Joule* 6 (10), P2225-2228. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.08.015>

² IEA. (2021a, mayo). *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>

³ IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press) 10.1017/9781009157926. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>

⁴ AIE, 2021a.

⁵ Lowes, R., Woodman, B., & Speirs, J. (2020, diciembre) Heating in Great Britain: An incumbent discourse coalition resists an electrifying future. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 37, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.07.007>; Szabo, J. (2022, February). Energy transition or transformation? Power and politics in the European natural gas industry's *transformismo*. *Energy Research & Social Science* 84, 102391. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102391>

⁶ AIE. (2021b, octubre). *Global Hydrogen Review 2021*. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>

Cabe señalar que el hidrógeno verde tiene muchos usos finales legítimos, tanto actuales como potenciales, como por ejemplo la electricidad renovable (como materia prima en la industria), los procesos a alta temperatura (por ejemplo, en el transporte marítimo) y el almacenamiento de energía a largo plazo para la producción de electricidad.⁷

Es de vital importancia saber si la evidencia científica disponible justifica la calefacción de los hogares con hidrógeno. En este documento se revisan los estudios independientes sobre el uso del hidrógeno para la calefacción de espacios interiores y del agua caliente. En este contexto, independiente se define como "*no realizado por o en nombre de una industria específica (por ejemplo, gas, petróleo, electricidad, bombas de calor, fabricantes de calderas)*". La revisión incluye un total de 32 estudios realizados a escala internacional, regional, nacional, estatal y municipal por un amplio abanico de diferentes partes, incluidas universidades, institutos de investigación, organizaciones intergubernamentales como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés)⁸ y la Agencia Internacional de la Energía (AIE),⁹ así como empresas de consultoría. Los estudios financiados por la industria han sido excluidos, porque a menudo se llevan a cabo en nombre de grupos industriales con el fin de apoyar una posición que convenga a sus intereses creados. Esto no quiere decir que no existan análisis sólidos financiados por la industria, pero a efectos de esta revisión de evidencia científica independiente no han sido tenidos en cuenta.

La revisión de la evidencia científica muestra que el uso generalizado del hidrógeno para calefacción no está respaldado por ninguno de los 32 estudios incluidos en este estudio. Por el contrario, la investigación independiente existente hasta la fecha sugiere que, en comparación con otras alternativas como las bombas de calor, la energía solar térmica y la calefacción urbana, el uso del hidrógeno para la calefacción doméstica es menos económico, menos eficiente, consume más recursos y comporta un mayor impacto ambiental.

Contexto

A día de hoy, más del 95% de la producción mundial de hidrógeno se basa en gases fósiles y en carbón sin reducción de carbono.¹⁰ Como la producción de hidrógeno requiere mucha energía, genera más emisiones que el combustible del que se obtiene. La captura y almacenamiento de carbono (CAC) podría, en principio, reducir esas emisiones si se consiguen altos índices de captura y si se minimizan las fugas de metano en las fases previas. Sin embargo, el llamado hidrógeno azul nunca puede tener cero emisiones de carbono y el análisis de las instalaciones de captura de carbono existentes sugiere que la producción actual de hidrógeno azul comporta emisiones residuales significativas.¹¹ El hidrógeno verde producido por electrólisis con electricidad puede tener cero emisiones de carbono si toda la electricidad utilizada procede de fuentes con cero emisiones de carbono. Para conseguir la plena

⁷ AIE, 2021a; P. R. Shukla et al, 2022.

⁸ P. R. Shukla et al, 2022.

⁹ AIE, 2021a

¹⁰ Rosenow, J. & Lowes, R. (2021, noviembre). Will blue hydrogen lock us into fossil fuels forever? *One Earth* 4, 1527–1529. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.10.018>

¹¹ Howarth, R.W., & Jacobson, M.Z. (2021, agosto). How green is blue hydrogen? *Energy Science & Engineering* 9, 1676–1687. <https://doi.org/10.1002/ese3.956>

descarbonización de la calefacción, sólo el hidrógeno verde procedente al 100% de electricidad con cero emisiones de carbono es capaz de conseguirlo.¹²

El atractivo de sustituir los combustibles fósiles utilizados para calefacción por hidrógeno radica en la aparente facilidad de la transición: Ya se han desarrollado las llamadas calderas preparadas para el hidrógeno. Los representantes del sector proponen que dichas calderas se instalen gradualmente a medida que se sustituyen los sistemas de calefacción existentes y puedan convertirse para ser utilizadas con hidrógeno más adelante, cuando esté disponible.¹³ Sin embargo, existen importantes incertidumbres sobre la viabilidad de la conversión de la red de gas al hidrógeno. Entre ellas, la idoneidad de las tuberías, tanto externas como internas de las viviendas y edificios, cómo y de dónde se producirá o importará el hidrógeno, y cuánto costará este proceso.¹⁴ Las pruebas que se están llevando a cabo en la actualidad utilizando calefacción alimentada al 100% por hidrógeno ayudarán a resolver algunas de estas incertidumbres en el futuro.

Metodología

Se ha llevado a cabo una Evaluación Rápida de la Evidencia Científica (REA, por sus siglas en inglés) para identificar los estudios existentes sobre calefacción a base de hidrógeno. Se trata de un método establecido para identificar y evaluar sistemáticamente la investigación existente en un área concreta, determinar lo que ya se sabe sobre el tema y respaldar la toma de decisiones políticas.¹⁵ La REA se ha utilizado repetidamente en la investigación energética y este documento sigue las directrices de la REA desarrolladas por el Centro de Investigación Energética del Reino Unido (UKERC, por sus siglas en inglés).¹⁶

Se han utilizado las bases de datos online *Web of Science* y *Academic Search Complete* para buscar artículos relevantes en la literatura académica. Asimismo, para identificar la literatura gris, se utilizó *Google Scholar*, pero sólo se analizaron los 200 primeros resultados para cada combinación de términos de búsqueda. La búsqueda se realizó mediante combinaciones booleanas de términos relevantes (Tabla 1).

Tabla 1: Operadores booleanos utilizados en REA

hidrógeno Y	"calefacción en interiores" "calefacción doméstica" calefacción Y edificios calefacción Y hogares "bombas de calor" electrificación Y calefacción
-------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

¹² Cassarino, T.G., & Barrett, M. (2022, enero). Meeting UK heat demands in zero emission renewable energy systems using storage and interconnectors. *Applied Energy* 306, 118051. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118051>

¹³ Lowes et al, 2020.

¹⁴ Speirs, J., Balcombe, P., Johnson, E., Martin, J., Brandon, N. & Hawkes, A. (2018, julio). A greener gas grid: What are the options. *Energy Policy* 118, 291–297. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.069>

¹⁵ Fell, M.J. (2019, julio). The Economic Impacts of Open Science: A Rapid Evidence Assessment. *Publications* 7. 10.3390/publications7030046. <https://doi.org/10.3390/publications7030046>

¹⁶ Speirs, J., Gross, R., & Heptonstall, P. (2015, mayo). *Developing a Rapid Evidence Assessment (REA) Methodology A UKERC TPA Technical Document*. UKERC. <https://d2e1qxpsswcpqz.cloudfront.net/uploads/2020/03/developing-a-rapid-evidence-assessment-v3.pdf>

Se han aplicado las siguientes restricciones:

- solo se consideró la evidencia científica publicada a partir del 1 de enero de 2019;
- sólo se revisaron las publicaciones en inglés y alemán, debido a las limitaciones de conocimientos lingüísticos; y
- Se han excluido las publicaciones realizadas por o en nombre de una industria específica.

De los estudios identificados se desprende que el análisis a nivel nacional está muy concentrado en unos pocos países, como Alemania y el Reino Unido. Lo más probable es que esto se deba en parte a que la REA no tiene en cuenta otras lenguas que no sean el inglés y el alemán, pero también en parte a que en dichos países se han realizado muchos estudios sobre calefacción a base de hidrógeno.

Para determinar la idoneidad, los resultados se filtraron inicialmente por el título y el abstract. Cuando esto no fue suficiente, se consultó el texto principal. Los criterios para determinar la idoneidad fueron los siguientes:

- investigación sobre el uso del hidrógeno para calentar espacios interiores o el agua sanitaria de los edificios;
- Creación de modelos de los costes del sistema y/o de los costes del consumidor derivados de la utilización de hidrógeno para la calefacción de espacios interiores y/o agua sanitaria en edificios frente a tecnologías alternativas; y
- revisiones de la evidencia científica sobre el uso del hidrógeno para proporcionar calefacción y/o agua caliente en edificios.

Tras el filtrado de los resultados de búsqueda indicados, se recopiló información descriptiva clave de cada uno de los resultados:

- geografía;
- tipo de análisis (creación de modelos de sistemas energéticos y de costes para el consumidor y revisión de la evidencia científica);
- año de las conclusiones (si procede);
- conclusiones sobre los costes relativos a la calefacción con hidrógeno frente a las tecnologías alternativas;
- resultados sobre la eficiencia de la calefacción con hidrógeno frente a tecnologías alternativas; y
- conclusiones sobre el impacto medioambiental de la calefacción con hidrógeno frente a las tecnologías alternativas.

Estudios independientes sobre la calefacción a base de hidrógeno

Se han identificado treinta y dos estudios independientes, que se resumen en las tablas 2-5 siguientes. Dichos estudios se han realizado a escala mundial, europea, nacional (Chequia, Alemania, Italia, Países Bajos, Polonia, España, Reino Unido), estatal (California) y en ciudades (Hamburgo y Sao Paulo).

A grandes rasgos, los estudios realizados se dividen en cuatro categorías, surgidas de la REA:

- 1. Creación de modelos de sistemas energéticos:** Varios estudios crean modelos de las vías más óptimas desde el punto de vista de los costes del sistema teniendo en cuenta una serie de categorías de costes, como la capacidad de generación de electricidad, los costes de la red, los costes de los electrolizadores, los costes de los aparatos de calefacción, etc.
- 2. Creación de modelos de los costes para el consumidor:** Otros estudios han calculado los costes totales para el consumidor de las tecnologías alternativas de calefacción limpia (incluyendo tanto los costes de capital como los de funcionamiento) y han concluido que la calefacción con hidrógeno es una opción significativamente más cara en comparación con otras tecnologías de calefacción limpia, como las bombas de calor y la calefacción urbana.
- 3. Estudios sobre el de impacto ambiental:** Un estudio creó modelos sobre la sostenibilidad ambiental de una serie de tecnologías y escenarios de calefacción en base al ciclo de vida para 19 categorías de impacto diferentes.¹⁷ Se llegó a la conclusión de que las calderas que utilizan hidrógeno (a partir de electrólisis o reformado de metano con vapor) tienen el mayor impacto ambiental en 19 de las 19 categorías, y que las bombas de calor eléctricas de fuente de aire son la opción de menor impacto para descarbonizar la calefacción.
- 4. Revisión de la evidencia científica:** Múltiples estudios evaluaron la validez del hidrógeno para la calefacción mediante la revisión de las pruebas existentes.

¹⁷ Storch, P.C., y Stamford, L. (2021). Net zero in the heating sector: Technological options and environmental sustainability from now to 2050. *Energy Conversion and Management* 230, 113838. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113838>

Tabla 2: Estudios de creación de modelos de sistemas energéticos de calefacción con hidrógeno

Tipo de estudio	Ámbito geográfico	Año al que se aplican los resultados	Conclusiones	Referencias ¹⁸
Creación de modelos de sistemas energéticos	REINO UNIDO	2050	El modelo de la vía más económica para alcanzar el 100% de descarbonización no incluye el hidrógeno para calefacción.	13
	REINO UNIDO	2050	La calefacción a base de hidrógeno costaría a los consumidores un 73% más que la calefacción urbana y las bombas de calor.	8
	Global	2050	La vía menos costosa incluye <2% de hidrógeno para descarbonizar los edificios.	1
	Alemania	2050	La eficiencia energética y la electrificación se asocian a costes significativamente inferiores a los de las vías del hidrógeno.	14
	UE	2030, 2040, 2050	En el mejor de los casos (menor coste del sistema) no se utiliza hidrógeno para calefacción.	15
	Global	2050	En la vía del menor coste, se supone que la mayoría de los sistemas de calefacción en 2050 son bombas de calor.	16
	Alemania	2050	El modelo de una vía de reducción del 95% de las emisiones de carbono da como resultado una cuota del 5% de hidrógeno en la demanda final de energía para calefacción de espacios y agua caliente en edificios residenciales.	17
	California	2019	En California, el hidrógeno costaría entre 3 y 10 veces más que la electrificación	18

¹⁸ Véanse las notas de referencia en el Anexo.

			de la calefacción, principalmente mediante bombas de calor.	
Sao Paulo, Brasil	2050		En los modelos de descarbonización de la calefacción para 2050, la mayor parte de la calefacción se suministra a través de la electrificación.	19
REINO UNIDO	2050		La producción de hidrógeno neutra en emisiones de CO ₂ mediante electricidad renovable y electrólisis no es competitiva en costes con el uso directo de electricidad en ASHP. El hidrógeno sólo se utiliza como complemento de las bombas de calor, que, según los modelos, suministran la mayor parte de la calefacción.	20
REINO UNIDO	2050		Con estrictos límites de emisiones y optimización de costes, casi toda la calefacción doméstica se suministra mediante bombas de calor eléctricas, salvo un 1% de calefacción que se suministra con hidrógeno mediante la conversión de una parte de la red de gas natural.	21
UE Y REINO UNIDO	2050		Las principales estrategias para la descarbonización de la calefacción son la electrificación. La calefacción urbana utiliza el calor residual de la producción de hidrógeno.	22
Países Bajos	2050		Entre el 1% y el 9% de la calefacción la proporciona el hidrógeno. Análisis subyacente obtenido. ²⁴	23
Global	2050		La electrificación se acelera hasta alcanzar una cuota del 88% en el escenario 1,5C-Elec, sin apenas utilizar	25

			hidrógeno para la calefacción.	
Global	2050		El hidrógeno para calefacción es insignificante (cerca a cero) en todos los escenarios de modelos para la optimización de costes.	26
UE	2050		La electrificación de la demanda energética de los edificios en la UE aumenta por encima del 65% en 2050 en todos los escenarios, con un papel limitado para el suministro de hidrógeno hasta aproximadamente el 10% de la demanda energética final en 2050 en los escenarios de hidrógeno.	27
Hamburgo, Alemania	2050		El análisis concluye que, incluso con unas previsiones muy optimistas de reducción de los precios del hidrógeno verde, la calefacción con hidrógeno es más cara para los consumidores finales que las bombas de calor.	28
REINO UNIDO	2035		El coste total del sistema por hogar asociado a las calderas de hidrógeno asciende a 1.600 £/año, frente a las 860 £/año de las bombas de calor.	29

Tabla 3: Estudios de modelos sobre el coste del consumo de la calefacción con hidrógeno

Tipo de estudio	Ámbito geográfico	Año al que se aplican los resultados	Conclusiones	Referencias
Modelos sobre el coste del consumo	UE	2050	El hidrógeno para calefacción es al menos dos veces más caro que las bombas de calor.	30
	España, Italia, Chequia y Polonia	2040	En los cuatro países investigados, se calcula que el uso de calderas de hidrógeno para calefacción en viviendas unifamiliares es entre un 60% y un 120% más costoso que el uso de bombas de calor y entre un 50% y un 80% más costoso en viviendas plurifamiliares.	31
	Alemania	2025, 2035	La calefacción de hidrógeno es mucho más cara que la electrificación, incluso antes de la reforma de los impuestos sobre la electricidad. Hay muy pocos casos en los que el hidrógeno tenga sentido desde el punto de vista económico en los edificios.	32
	Alemania	n/a	La calefacción de hidrógeno es cinco veces menos eficiente que las bombas de calor en cuanto a la cantidad de electricidad necesaria.	33
	Países Bajos	2050	Todos los escenarios de hidrógeno son al menos dos veces más caros que las bombas de calor.	34
	REINO UNIDO	2050	La calefacción con hidrógeno procedente del reformado de metano al vapor con captura y almacenamiento de carbono es dos veces más cara y la calefacción con hidrógeno procedente de la electrólisis es tres	35

			veces más cara en comparación con una bomba de calor de fuente de aire.	
	Alemania	2050	Las bombas de calor aerotérmicas son la tecnología de calefacción residencial más rentable en 2050 y su coste es al menos un 40% inferior al de las tecnologías basadas únicamente en hidrógeno.	36
	Alemania	2030	Las tecnologías de calefacción por hidrógeno son entre 1,4 y 2,1 veces más caras que las bombas de calor.	37

Tabla 4: Estudios sobre el impacto ambiental de la calefacción con hidrógeno

Tipo de estudio	Ámbito geográfico	Año al que se aplican los resultados	Conclusiones	Referencias
Estudios del impacto ambiental	REINO UNIDO	2035, 2050	<p>Las calderas que utilizan hidrógeno (a partir de electrólisis y reformado de metano con vapor) tienen los impactos más elevados en las 19 categorías de impacto (debido al elevado uso de electricidad y recursos), entre las que se incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • demanda de energía primaria • agotamiento de metales • consumo de agua dulce • partículas finas • formación fotoquímica de ozono • ecosistemas/salud humana • agotamiento de la capa de ozono • ecotoxicidad en agua dulce • eutrofización marina • acidificación terrestre • toxicidad humana cancerígena y no cancerígena, • radiaciones ionizantes • agotamiento de los fósiles <p>Las bombas de calor son la opción de menor impacto ambiental para descarbonizar la calefacción.</p>	12

Tabla 5: Revisiones de la evidencia científica recopilada sobre la calefacción con hidrógeno

Tipo de estudio	Ámbito geográfico	Año al que se aplican los resultados	Conclusiones	Referencias
Revisión de la evidencia científica	UE	n/a	La calefacción con hidrógeno se identifica como una solución sectorial y el análisis sugiere que no existe una ruta creíble por la que el hidrógeno entre en el sector de la calefacción residencial.	38
	Global	n/a	Bajo nivel de confianza y de preparación del hidrógeno para calefacción.	39
	Global	2050	Concluye que el coste del calor procedente del hidrógeno sería mucho mayor que el de las bombas de calor y asume que cerca del 0% de la calefacción de los edificios se proporcionaría con hidrógeno.	2
	Global	n/a	A la calefacción residencial se le asignó la prioridad más baja de las aplicaciones de hidrógeno.	40
	Global	2020-2050	El hidrógeno no se recomienda para calefacción debido a su ineficacia y mayores costes.	41

Discusión

De los 32 estudios pueden extraerse algunas conclusiones clave:

En primer lugar, el uso del hidrógeno para la calefacción comporta unos costes más elevados del sistema energético en comparación con las tecnologías alternativas que proporcionan calefacción descarbonizada de espacios interiores y de agua caliente, como las bombas de calor, la calefacción urbana y la energía solar térmica.¹⁹ Esto se debe en gran medida a las mayores necesidades de electricidad del hidrógeno verde en comparación con la electrificación mediante bombas de calor.

En segundo lugar, el uso del hidrógeno para la calefacción encarece los costes de calefacción de los consumidores (incluidos los costes iniciales y de funcionamiento de

¹⁹ Cassarino y otros, 2022.

los sistemas de calefacción).²⁰ No se sabe con certeza en qué medida cambiarán los costes con el tiempo y cómo repercutirán en el coste de los consumidores, pero las pruebas recabadas sugieren que la calefacción con hidrógeno será más cara para los consumidores.

Por último, el uso del hidrógeno para la calefacción comporta un mayor impacto ambiental, necesita más infraestructuras de suministro energético, utiliza más recursos y requiere más terreno.²¹ Sin embargo, la REA sólo identificó un estudio sobre el impacto ambiental del hidrógeno frente a tecnologías alternativas para calefacción. Sería útil seguir investigando en este sentido para ampliar la evidencia científica más allá de un único estudio.

Uno de los problemas críticos que explican estos resultados es la ineficiencia de la producción y el consumo de hidrógeno. La eficiencia de la electrólisis ronda el 80% y la eficiencia media de las calderas es del 85%, con lo que la eficiencia global del calentamiento de hidrógeno es del 70%.²² Una bomba de calor utiliza una unidad de electricidad y genera entre tres y cuatro unidades de calor.²³ Debido a estas eficiencias, se necesita unas cinco veces más electricidad para calentar una casa con hidrógeno que para calentar la misma casa con una bomba de calor eficiente, ya sea individualmente o como parte de una red de calefacción urbana. Como consecuencia de esta ineficacia, el grado de construcción necesario para las energías renovables sería extremadamente elevado, como señala el Comité sobre el Cambio Climático del Reino Unido.²⁴

Los estudios identificados en esta REA a menudo hacen suposiciones sobre los costes futuros del hidrógeno y las tecnologías de calefacción alternativas. Es probable que los costes del hidrógeno ecológico producido a partir de electricidad renovable disminuyan de forma significativa en las próximas décadas,²⁵ en gran medida asociado a las reducciones del coste de la generación de electricidad renovable. Sin embargo, las reducciones en el coste de la generación de electricidad renovable también conducirían a una electrificación térmica más barata. Debido a las diferencias de eficiencia del hidrógeno frente a la electrificación, el diferencial de coste relativo entre el hidrógeno verde y las bombas de calor se mantendría, lo que sugiere que es probable que las bombas de calor sean más baratas que el uso de hidrógeno verde para generar calor.

Aunque las pruebas recabadas y analizadas desaconsejan claramente el uso generalizado del hidrógeno para la calefacción de espacios interiores y del agua sanitaria, podría haber aplicaciones complementarias para la calefacción con hidrógeno. Las bombas de calor híbridas, que consisten en una bomba de calor que funciona en combinación con una caldera de hidrógeno, podrían utilizarse para reducir los picos de demanda eléctrica. Esto puede ser relevante en zonas en las que los costes de mantenimiento de la red eléctrica son especialmente elevados, y las bombas de calor

²⁰ Baldino, C., O'Malley, J., Searle, S. & Christensen, A. (2021, marzo). *Hydrogen for heating? Decarbonization options for households in the European Union in 2050*. ICCT. <https://theicct.org/publication/hydrogen-for-heating-decarbonization-options-for-households-in-the-european-union-in-2050/>

²¹ Storch & Stamford, 2021.

²² Cassarino y otros, 2022.

²³ Lowes, R., Rosenow, J., Qadrdan, M. & Wu, J. (2020, diciembre). Hot stuff: Research and policy principles for heat decarbonisation through smart electrification. *Energy Research & Social Science* 70, 101735. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101735>

²⁴ Comisión de cambio climático. (2018, noviembre). *Hydrogen in a low-carbon economy*. <https://www.theccc.org.uk/publication/hydrogen-in-a-low-carbon-economy>

²⁵ IPCC, 2022; IRENA. (2022). *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*. <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>

híbridas combinadas con calderas de hidrógeno podrían desempeñar un papel importante.

A nivel europeo se ha hablado de los llamados valles de hidrógeno. Los valles de hidrógeno son zonas concretas con una importante producción y uso local de hidrógeno, que se transporta en distancias cortas. En estas zonas, donde se están construyendo infraestructuras de hidrógeno para suministrar hidrógeno a usos industriales, por ejemplo, la calefacción con hidrógeno podría ser una opción más viable. Hasta ahora, sin embargo, no hay pruebas suficientes al respecto.

Los sistemas de calefacción urbana podrían aprovechar el calor residual de los electrolizadores y también se ha sugerido el uso del hidrógeno para cubrir los picos de demanda de calor en los sistemas de calefacción urbana como complemento a otras fuentes de calor.²⁶

Y lo que es más importante, aunque el hidrógeno puede desempeñar un papel complementario para la calefacción en algunas aplicaciones, las pruebas disponibles no respaldan la idea de que el gas fósil utilizado para la calefacción deba sustituirse por hidrógeno en igualdad de condiciones. Esto plantea cuestiones importantes para la viabilidad futura de la red de distribución de gas.

Conclusión

A pesar de la gran atención que ha recibido la calefacción a base de hidrógeno, las pruebas independientes no respaldan el uso generalizado del hidrógeno para la calefacción de espacios interiores y del agua sanitaria. Esta revisión de la evidencia científica identificó 32 estudios independientes y ninguno de ellos aporta pruebas que apoyen el uso generalizado del hidrógeno para la calefacción, aunque algunos identifican funciones complementarias del hidrógeno, en particular en la calefacción urbana y los sistemas híbridos de calefacción. Por lo tanto, es aconsejable que los responsables políticos estudien con detenimiento los estudios existentes antes de destinar fondos públicos significativos a la calefacción por hidrógeno.

Esto también se debe a que existen muchas otras aplicaciones de alta prioridad en las que el hidrógeno es esencial. Esto incluye, por ejemplo, la sustitución del uso actual del hidrógeno por el hidrógeno verde (como en la producción de fertilizantes), la sustitución de combustibles fósiles en procesos industriales de alta temperatura, el transporte marítimo y el almacenamiento de energía a largo plazo para la producción de electricidad.²⁷ Dada la cantidad de hidrógeno necesario para las aplicaciones en las que existen pocas alternativas de descarbonización, parece sensato centrar los esfuerzos del sector de la calefacción en el desarrollo de las tecnologías ya existentes.

También existe el riesgo de que el debate sobre el hidrógeno para calefacción provoque un retraso en el desarrollo de tecnologías alternativas de calefacción limpia, que ya están disponibles y reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, como la eficiencia energética, las bombas de calor, la calefacción urbana, la energía solar térmica entre otras. Dada la urgencia de reducir las emisiones de carbono, las políticas y normativas deberían centrarse en aumentar el desarrollo de las tecnologías disponibles hoy en lugar de anticipar la disponibilidad generalizada del hidrógeno en el futuro.

²⁶ Böhm, H., Moser, S., Puschnigg, S. & Zauner, A. (2021, septiembre). Power-to-hydrogen & district heating: Technology-based and infrastructure-oriented analysis of (future) sector coupling potentials. *International Journal of Hydrogen Energy* 46, 31938-31951. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.233>

²⁷ IPCC, 2022.

Anexo – Referencias

1. IEA. (2021a, May). *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
2. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. 10.1017/9781009157926. <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-3/>
3. Lowes, R., Woodman, B. & Speirs, J. (2020, December). Heating in Great Britain: An incumbent discourse coalition resists an electrifying future. *Environmental Innovation and Societal Transitions* 37, 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2020.07.007>
4. Szabo, J. (2022, February). Energy transition or transformation? Power and politics in the European natural gas industry's trasformismo. *Energy Research & Social Science* 84, 102391. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102391>
5. IEA. (2021b, October). *Global Hydrogen Review 2021*. <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2021>
6. Rosenow, J. & Lowes, R. (2021, November). Will blue hydrogen lock us into fossil fuels forever? *One Earth* 4, 1527–1529. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.10.018>
7. Howarth, R.W., & Jacobson, M.Z. (2021, August). How green is blue hydrogen? *Energy Science & Engineering* 9, 1676–1687. <https://doi.org/10.1002/ese3.956>
8. Cassarino, T.G. & Barrett, M. (2022, January). Meeting UK heat demands in zero emission renewable energy systems using storage and interconnectors. *Applied Energy* 306, 118051. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118051>
9. Speirs, J., Balcombe, P., Johnson, E., Martin, J., Brandon, N. & Hawkes, A. (2018, July). A greener gas grid: What are the options. *Energy Policy* 118, 291–297. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.069>
10. Fell, M.J. (2019, July). The Economic Impacts of Open Science: A Rapid Evidence Assessment. *Publications* 7. 10.3390/publications7030046. <https://doi.org/10.3390/publications7030046>
11. Speirs, J., Gross, R., & Heptonstall, P. (2015, May). *Developing a Rapid Evidence Assessment (REA) Methodology A UKERC TPA Technical Document*. UKERC. <https://d2e1qxpsswcpgz.cloudfront.net/uploads/2020/03/developing-a-rapid-evidence-assessment-v3.pdf>
12. Slorach, P.C. & Stamford, L. (2021, February). Net zero in the heating sector: Technological options and environmental sustainability from now to 2050. *Energy Conversion and Management* 230, 113838. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.113838>
13. Broad, O., Hawker, G. & Dodds, P.E. (2020, May). Decarbonising the UK residential sector: The dependence of national abatement on flexible and local views of the future. *Energy Policy* 140, 111321. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111321>
14. Ifeu, Fraunhofer IEE, & Consentec. (2019, December). Building sector Efficiency: A crucial Component of the Energy Transition. <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/building-sector-efficiency-a-crucial-component-of-the-energy-transition/>

15. Kranzl, L., Fallahnejad, M., Büchele, R., Müller, A., Hummel, M., Fleiter, T., Mandel, T., et al. (2022). *Renewable space heating under the revised Renewable Energy Directive : ENER/C1/2018-494 : final report*. Publications Office of the European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/16710ac3-eaco-11ec-a534-01aa75ed71a1/language-en>
16. Krishnan, M., Samandari, H., Woetzel, J., Smit, S., Pachod, D., Pinner, D., Naucler, T., et al. (2022, January). *The net zero transition. What if would cost, what it could bring*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com/capabilities/sustainability/our-insights/the-net-zero-transition-what-it-would-cost-what-it-could-bring>
17. Simon, S., Xiao, M., Harpprecht, C., Sasanpour, S., Gardian, H. & Pregger, T. (2022, January). A Pathway for the German Energy Sector Compatible with a 1.5 C Carbon Budget. *Sustainability* 14. 10.3390/su14021025. <https://doi.org/10.3390/su14021025>
18. Sheikh, I. & Callaway, D. (2019, July). Decarbonizing Space and Water Heating in Temperate Climates: The Case for Electrification. *Atmosphere* 10. 10.3390/atmos10080435. <https://doi.org/10.3390/atmos10080435>
19. Jalil-Vega, F., García Kerdan, I. & Hawkes, A.D. (2020, March). Spatially-resolved urban energy systems model to study decarbonisation pathways for energy services in cities. *Applied Energy* 262, 114445. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114445>
20. Aunedi, M., Yliruka, M., Dehghan, S., Pantaleo, A.M., Shah, N. & Strbac, G. (2022, July). Multi-model assessment of heat decarbonisation options in the UK using electricity and hydrogen. *Renewable Energy* 194, 1261–1276. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.145>
21. Quarton, C.J. & Samsatli, S. (2020, October). Should we inject hydrogen into gas grids? Practicalities and whole-system value chain optimisation. *Applied Energy* 275, 115172. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115172>
22. Victoria, M., Zeyen, E. & Brown, T. (2022, May). Speed of technological transformations required in Europe to achieve different climate goals. *Joule* 6, 1066–1086. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2022.04.016>
23. Scheepers, M., Palacios, S.G., Jegu, E., Nogueira, L.P., Rutten, L., van Stralen, J., Smekens, K., et al. (2022, April). Towards a climate-neutral energy system in the Netherlands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 158, 112097. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112097>
24. Scheepers, M., Palacios, S.G., Janssen, G., Moncada Botero, J., van Stralen, J., Machado dos Santos, C.O., Uslu, A. & West, K. (2022, April). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050 – Scenario update and analysis of heat supply and chemical and fuel production from sustainable feedstocks*. TNO. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:5c7f19fb-9e6d-4830-9ad6-1e83d1355ece>
25. Luderer, G., Madeddu, S., Merfort, L., Ueckerdt, F., Pehl, M., Pietzcker, R., Rottoli, M., et al. (2021, November). Impact of declining renewable energy costs on electrification in low-emission scenarios. *Nature Energy* 7, 32–42. 10.1038/s41560-021-00937-z. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00937-z>
26. Oshiro, K. & Fujimori, S. (2022, May). Role of hydrogen-based energy carriers as an alternative option to reduce residual emissions associated with mid-century decarbonization goals. *Applied Energy* 313, 118803. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118803>

27. Capros, P., Zazias, G., Evangelopoulou, S., Kannavou, M., Fotiou, T., Siskos, P., de Vita, A. & Sakellaris, K. (2019, November). Energy-system modelling of the EU strategy towards climate-neutrality. *Energy Policy* 134, 110960.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110960>
28. Röben, F., Kicherer, N., Jürgens, L., Decher, S., Schäfers, H., and Düsterlho, J.-E. (2022, May). *Decarbonization of the Heating Sector in Hamburg - Grid Constraints, Efficiency and Costs of Green Hydrogen vs. Heat Pumps*. 2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM). doi: 10.1109/EEM54602.2022.9921141. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9921141>
29. Olympios, A. v, Aunedi, M., Mersch, M., Krishnaswamy, A., Stollery, C., Pantaleo, A.M., Sapin, P., et al. (2022, June). Delivering net-zero carbon heat: Technoeconomic and whole-system comparisons of domestic electricity- and hydrogen-driven technologies in the UK. *Energy Conversion & Management* 262, 115649.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115649>
30. Baldino, C., O'Malley, J., Searle, S. & Christensen, A. (2021, March). *Hydrogen for heating? Decarbonization options for households in the European Union in 2050*. ICCT. <https://theicct.org/publication/hydrogen-for-heating-decarbonization-options-for-households-in-the-european-union-in-2050/>
31. Foster, S., Hughes, F. & Dias, J. (2022, February). *The Consumer Costs of Decarbonised Heat*. Element Energy.
https://www.beuc.eu/sites/default/files/publications/beuc-x-2021-111_consumer_cost_of_heat_decarbonisation_report.pdf
32. Matthes, F., Braungardt, S., Bürger, V., Göckeler, K., Heinemann, C., Hermann, H., Kasten, P., et al. (2021). *Die Wasserstoffstrategie 2.0 für Deutschland*. Öko-Institut.
<https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Die-Wasserstoffstrategie-2-0-fuer-DE.pdf>
33. Thomas, S., Bierwirth, A., März, S., Schüwer, D., Vondung, F., von Geibler, J., and Wagner, O. (2021, November). CO₂-neutrale Gebäude bis spätestens 2045. Ein Diskussionsbeitrag für eine ambitionierte und sozialverträgliche Politikstrategie. *Zukunftsimpuls Nr. 21*. <https://wupperinst.org/a/wi/a/s/ad/7539>
34. Baldino, C., O'Malley, J., Searle, S. & Christensen, A. (2021, July). *Hydrogen for Heating? Decarbonization Options for Households in the Netherlands in 2050*. ICCT. <https://theicct.org/sites/default/files/publications/hydrogen-heating-netherlands-housholds-jul2021.pdf>
35. Baldino, C., O'Malley, J., Searle, S., Zhou, Y. & Christensen, A. (2020). *Hydrogen for heating? Decarbonization options for households in the United Kingdom in 2050*. ICCT. <https://theicct.org/publication/hydrogen-for-heating-decarbonization-options-for-households-in-the-united-kingdom-in-2050/>
36. Baldino, C., O'Malley, J., Searle, S. & Christensen, A. (2021, April). *Hydrogen for heating? Decarbonization options for households in Germany in 2050*. ICCT. <https://theicct.org/publication/hydrogen-for-heating-decarbonization-options-for-households-in-germany-in-2050/>
37. Meyer, R., Herkel, S., and Kost, C. (2021, September). *Analyse: Die Rolle von Wasserstoff im Gebäudesektor – Vergleich technischer Möglichkeiten und Kosten defossilisierter Optionen der Wärmeerzeugung*. Kopernikus Projekte.
<https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-wasserstoff-im-gebauedesektor/>

38. Flis, G. & Deutch, M. (2021). *12 Insights on Hydrogen*. Agora Energiewende and Agora Industry. <https://www.agora-energiewende.de/en/publications/12-insights-on-hydrogen-publication/>
39. Energy Transitions Commission. (2021, April). *Making the Hydrogen Economy Possible: Accelerating Clean Hydrogen in an Electrified Economy*. <https://www.energy-transitions.org/publications/making-clean-hydrogen-possible/>
40. IRENA. (2022). *Geopolitics of the Energy Transformation: The Hydrogen Factor*. <https://www.irena.org/publications/2022/Jan/Geopolitics-of-the-Energy-Transformation-Hydrogen>
41. Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A., Everall, J., Sacchi, R. & Luderer, G. (2021, May). Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation. *Nature Climate Change* 11, 384–393. 10.1038/s41558-021-01032-7. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01032-7>
42. Lowes, R., Rosenow, J., Qadrdan, M. & Wu, J. (2020, December). Hot stuff: Research and policy principles for heat decarbonisation through smart electrification. *Energy Research & Social Science* 70, 101735. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101735>
43. Committee on Climate Change. (2018, November). *Hydrogen in a low-carbon economy*. <https://www.theccc.org.uk/publication/hydrogen-in-a-low-carbon-economy>
44. Böhm, H., Moser, S., Puschnigg, S. & Zauner, A. (2021, Septemeber). Power-to-hydrogen & district heating: Technology-based and infrastructure-oriented analysis of (future) sector coupling potentials. *International Journal of Hydrogen Energy* 46, 31938–31951. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.233>



RAP[®]

Energy Solutions for a Changing World

Proyecto de Asistencia Regulatoria (RAP)[®]
Bélgica - China - Alemania - India - Estados Unidos

Rue de la Science 23
B - 1040 Bruselas
Bélgica

+32 2-789-3012
info@raponline.org
raponline.org

© Proyecto de Asistencia Regulatoria (RAP)[®]. Este trabajo está protegido por la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial (CC BY-NC 4.0).