



# Producción de hidrógeno y movilidad sostenible: Un enfoque bibliométrico para detectar temas de investigación, desarrollo e innovación

## *Hydrogen production and sustainable mobility: A bibliometric approach to detect research, development and innovation themes*

Nadia Karina Gamboa-Rosales<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CONAHCYT, Centro de Investigación e Innovación Automotriz, Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica, Universidad Autónoma de Zacatecas, México.

Email: karinagamboarosales@outlook.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3421-8289>.

### RESUMEN

**Objetivo.** Establecer y analizar el desarrollo, aplicación y evolución de conocimientos en los ámbitos de la producción de hidrógeno y movilidad sostenible a través de un enfoque bibliométrico.

**Diseño/Metodología/Enfoque.** Se emplearon herramientas bibliométricas como el análisis de citas, la identificación y mapeo de palabras clave en la literatura e identificación de agentes referentes mediante su rendimiento en la base de datos *Web of Science (WoS)*. Este enfoque permitió una mejor comprensión de las áreas de investigación más activas y los temas que cobraron relevancia en la actualidad.

**Resultados/Discusión.** La producción de hidrógeno y movilidad sostenible en conjunto presentan un área de conocimiento y aplicación en desarrollo. Esta área surgió de las bases de ambas; pero presenta características que le definen como un área independiente. Se observó una transversalidad hacia otras áreas científicas, tecnológicas y empresariales.

**Conclusiones.** La producción de hidrógeno y la movilidad sostenible son áreas de conocimiento independientes, que se encuentran en crecimiento y evolución. Sin embargo, si se analizan de forma conjunta abren un área distinta, que ofrece retos claves para la sostenibilidad y desarrollo del mundo entero. Para ello, la colaboración y cooperación entre agentes resulta clave.

**Originalidad/Valor.** La investigación presentó una aproximación a un área de conocimiento y aplicación en crecimiento y de interés para las comunidades académicas, científicas, tecnológicas y empresariales. Esta aproximación permitirá enfocar los esfuerzos y aprovechar los recursos en el desarrollo de tecnologías y soluciones sostenibles basadas en el hidrógeno para el sector de la movilidad.

**Recibido:** 27-06-2023. **Aceptado:** 15-11-2023. **Publicado:** 21-12-2023

**Editor:** Adilson Luiz-Pinto

**Cómo citar:** Gamboa Rosales, N. K. (2023). Producción de hidrógeno y movilidad sostenible: Un enfoque bibliométrico para detectar temas de investigación, desarrollo e innovación. *Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication*; 3(3), 1-18. DOI: 10.47909/ijsmc.81

**Copyright:** © 2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the CC BY-NC 4.0 license which permits copying and redistributing the material in any medium or format, adapting, transforming, and building upon the material as long as the license terms are followed.

**Palabras clave:** hidrógeno; tecnologías de producción; economía del hidrógeno; sostenibilidad; energía medio ambiente.

## ABSTRACT

**Objective.** To map and analyze the development, application, and evolution of knowledge in hydrogen production and sustainable mobility through a bibliometric approach.

**Design/Methodology/Approach.** Bibliometric tools have been used to achieve the objective, such as citation analysis, identification and mapping of keywords in the literature, and recognition of key players through their performance in the *Web of Science (WoS)* database. This approach allowed a better understanding of the most active research areas and topics that are currently relevant.

**Results/Discussion.** Hydrogen production and sustainable mobility together presented a developing knowledge and application area. This area emerged from both bases but presented characteristics that define it as a unique subject. In addition, it was observed that it presents a transversality towards other scientific, technological, and business fields.

**Conclusions.** Hydrogen production and sustainable mobility are independent knowledge areas that are growing and evolving. However, if analyzed together, they open up a distinctive area that offers crucial challenges for the sustainability and development of the whole world. For this, collaboration and cooperation between agents is essential.

**Originality/Value.** The research provides an approach to a growing knowledge and application area of interest for the academic, scientific, technological, and business communities. This approach will allow us to focus efforts and leverage resources in developing sustainable hydrogen-based technologies and solutions for the mobility sector.

**Keywords:** hydrogen; production technologies; hydrogen economy; sustainability; energy; environment.

## INTRODUCCIÓN

EL MUNDO se encuentra en un estado de constante e imparable evolución. La interacción de factores macroeconómicos, sociales y medioambientales ha desencadenado una serie de desafíos sin precedentes que requieren una atención inmediata y una acción concertada. Estos desafíos, que abarcan desde la investigación de fuentes de energía más limpias y sostenibles hasta la lucha contra el cambio climático y la creciente demanda de movilidad en un mundo cada vez más interconectado, están marcando un punto de inflexión en la historia de la sociedad (Hosseini & Butler, 2020; Ishaq *et al.*, 2022).

En este sentido, existen campos que, a primera vista, podrían parecer independientes, pero que requieren una atención conjunta para dar respuesta a lo anterior. Ejemplo de esto, son la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible. A medida que se profundiza en estas dos áreas aparentemente dispares, surge una relación cada vez más evidente, con implicaciones que van trascienden más allá de los aspectos técnicos. La producción de hidrógeno

y la movilidad sostenible son dos áreas de gran relevancia, cuyo entrelazamiento está dando forma a la economía, el desarrollo científico, tecnológico y social a nivel global (Calandra *et al.*, 2023; Gamboa-Rosales, Ayastuy-Arizti, Gamboa-Rosales, *et al.*, 2019; Gamboa-Rosales, Ayastuy-Arizti, Otegi-Olaso, *et al.*, 2019; Kar *et al.*, 2022).

En un contexto de globalización, las decisiones que se toman en un rincón del planeta pueden tener un impacto tangible en otros lugares distantes. La interdependencia entre las economías, la necesidad de abordar la crisis climática y el llamado a la transición hacia fuentes de energía sostenibles están redefiniendo las agendas de los gobiernos y las prioridades de las empresas, entre otros agentes (Nallapaneni & Kshirsagar, 2024; Singh *et al.*, 2021). Los factores macroeconómicos, como la búsqueda de soluciones energéticas para reducir las emisiones de carbono y mitiguen el cambio climático, están impulsando cambios fundamentales en el consumo y producción de energía. La creciente demanda de energía, combinada con la necesidad de reducir el impacto ambiental, ha llevado a un renacimiento del interés en el

hidrógeno como vector energético. En particular, el hidrógeno “verde”, producido a partir de fuentes de energía renovable como la solar y la eólica, se ha destacado como una opción atractiva para abordar estos desafíos (Noussan *et al.*, 2020).

Simultáneamente, la movilidad sostenible se ha convertido en un tema prioritario y vital en la agenda global. El transporte es uno de los principales contribuyentes a las emisiones de gases de efecto invernadero y a la contaminación del aire en muchas ciudades. La adopción de tecnologías de transporte limpio se ha convertido en una prioridad para mitigar estos impactos negativos (Falcone *et al.*, 2021; Gamboa-Rosales *et al.*, 2020). La convergencia de estos dos factores macroeconómicos, la búsqueda de fuentes de energía limpias y la necesidad de una movilidad más sostenible, ha llevado a una fusión natural entre la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible (Häußermann *et al.*, 2023; Noyan *et al.*, 2023).

Por ello, la producción de hidrógeno se presenta como un componente fundamental en la transformación de la economía global hacia un modelo respetuoso con el medio ambiente y sostenible. El hidrógeno, en su forma más pura, es un vector energético versátil que se puede utilizar en una variedad de aplicaciones, desde la generación de energía eléctrica hasta la producción de calor y la movilidad. Además de su rol en la transición hacia una economía baja en carbono, la producción de hidrógeno está generando impactos económicos significativos. La inversión en tecnologías relacionadas con el hidrógeno está estimulando la innovación y creando empleos en la industria. Los sectores de la energía y el transporte están notando una reconfiguración a medida que las empresas buscan aprovechar las oportunidades que ofrece el hidrógeno.

A pesar de los avances significativos y las perspectivas prometedoras en la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible, persisten desafíos considerables en los ámbitos de la investigación, desarrollo, innovación y tecnología. Estos retos son una manifestación de la complejidad de la transición hacia una economía más sostenible y la adopción generalizada de tecnologías limpias. Para superar estos obstáculos, se requieren acciones coordinadas y un enfoque interdisciplinario que fomente

la generación de nuevos conocimientos y soluciones innovadoras (Sandaka & Kumar, 2023; Wanniarachchi *et al.*, 2023).

En el ámbito de la producción de hidrógeno, su obtención a un costo competitivo es uno de los principales desafíos. Aunque se han logrado avances en la eficiencia de la electrólisis y la producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables, el costo de estas tecnologías sigue siendo un obstáculo para su adopción generalizada. Investigar y desarrollar métodos más rentables y eficientes para la producción de hidrógeno es esencial para su viabilidad a gran escala (Dash *et al.*, 2023). En la movilidad sostenible, la infraestructura de hidrógeno sigue siendo un área problemática. La falta de una red de infraestructuras y estaciones de servicio de hidrógeno limita la adopción de vehículos de hidrógeno, ya que la infraestructura es fundamental para su éxito. Superar este obstáculo requiere inversiones significativas y colaboración entre gobiernos, empresas y la comunidad científica para desarrollar una red de abastecimiento de hidrógeno robusta y accesible (Hwang *et al.*, 2023).

Para abordar estos desafíos y fomentar la innovación, se requiere una colaboración estrecha entre gobiernos, la industria y la comunidad académica. Las políticas de apoyo desempeñan un papel crucial al proporcionar incentivos y financiación para la investigación y el desarrollo en estos campos. Ya que, los gobiernos desempeñan un papel fundamental al establecer políticas que promuevan la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible. La inversión en investigación y desarrollo, así como la implementación de regulaciones que favorezcan la adopción de tecnologías limpias, son esenciales. Los incentivos fiscales y las subvenciones pueden estimular la inversión en tecnologías relacionadas con el hidrógeno y la movilidad sostenible (Ahmed *et al.*, 2023).

La colaboración a nivel internacional también es crucial, ya que los desafíos asociados con la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible son globales. El intercambio de conocimientos y la cooperación en proyectos de investigación pueden acelerar el progreso y fomentar soluciones más efectivas. La producción de hidrógeno y la movilidad sostenible son dos áreas cruciales en la transición hacia una economía respetuosa con el medio ambiente y

sostenible. A pesar de los avances notables, persisten desafíos importantes en los ámbitos de la investigación, desarrollo, innovación y tecnología (Calandra *et al.*, 2023; Otaki & Shaw, 2023). Por todo ello, los objetivos de esta investigación comprenden identificar quiénes son los principales agentes (autores, organizaciones, y países y regiones) en los ámbitos de producción de hidrógeno y movilidad sostenible, de manera individual y conjunta, así como las publicaciones con mayor impacto y relevancia según el h-index correspondiente. Para ello, se evaluarán los principales indicadores bibliométricos relacionados con el rendimiento (número de publicaciones, citas recibidas, distribución geográfica, número de autores, principalmente), y posteriormente, se visualizará a través de un mapa científico la relación entre los autores y los principales temas de investigación, desarrollo e innovación según la base de datos *Web of Science (WoS)* (Furstenau *et al.*, 2020; Herrera-Viedma *et al.*, 2020; López-Robles *et al.*, 2019; López-Robles *et al.*, 2020; Otegi-Olaso *et al.*, 2019; Sott *et al.*, 2021).

## METODOLOGÍA Y PREPARACIÓN DE DATOS

Para dar respuesta a los retos y objetivos planteados, se ha empleado un enfoque basado en técnicas y herramientas bibliométricas. Este enfoque es considerado por distintos expertos como una aproximación adecuada cuando se quiere determinar la repercusión y el esfuerzo que se está dedicando en dos áreas de conocimiento o aplicación durante una franja de tiempo concreto, como es en este caso la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible. Igualmente, la bibliometría posibilita medir la productividad y calidad académica, científica y tecnológica, proporcionando con ello la identificación de los principales agentes y posibles tendencias, a través de los mapas de la ciencia.

Dentro de las estrategias aplicadas en bibliometría, se destacan dos enfoques esenciales: el análisis del desempeño y la creación de mapas de relaciones científicas. En el análisis del desempeño, se evalúa el impacto de las publicaciones mediante el seguimiento de su evolución y citas. Por otro lado, los mapas de relaciones científicas ofrecen una representación espacial que visualiza la interconexión

entre documentos, palabras clave y autores. Este enfoque se emplea ampliamente para exponer, comprender y descubrir relaciones que podrían pasar desapercibidas entre conceptos cruciales para el avance de uno o varios campos científicos o líneas de investigación específicas. En resumen, estos métodos en bibliometría proveen herramientas valiosas para analizar la influencia y las interconexiones dentro del ámbito científico, facilitando la comprensión y el descubrimiento de relaciones fundamentales para el progreso y desarrollo en diversos campos científicos.

En primer lugar, se desarrolló el análisis de rendimiento de cada ámbito y en conjunto, utilizando indicadores bibliométricos que cuantifican la producción de los diferentes autores, organizaciones, países, fuentes y áreas de conocimiento, así como el impacto alcanzado por las publicaciones dentro de una de las bases de datos más relevantes a nivel global como es la *WoS* (Gutiérrez-Salcedo *et al.*, 2018; Herrera *et al.*, 2009; Moed *et al.*, 1985; Moed *et al.*, 1995). Para ello, se plantearon tres criterios de búsqueda en la *WoS Core Collection*. El primero de estos recogía los principales indicadores asociados a la producción de hidrógeno, el segundo a la movilidad sostenible, y el último, el conjunto de ambos ámbitos. Las búsquedas fueron realizadas el 29 de octubre de 2023, y se limitaban a recoger los documentos publicados hasta la fecha, sin incluir publicaciones adelantadas de 2024, así como solamente aquellos documentos clasificados como artículos, revisiones del estado del arte y participaciones de congresos en idioma inglés. Finalmente, dichas búsquedas fueron descargadas para su procesamiento.

Se realizó un mapa científico basado en la coocurrencia de las palabras claves incluidas en los documentos disponibles en la base de datos antes señalada, utilizando *VOSviewer*, aplicación informática especializada en la visualización de este tipo de mapas. Además, de la visualización, se planteó un análisis de los principales temas identificados, su relación e implicación con respecto al alcance de la presente investigación. En este caso, para asegurar que los términos analizados eran coherentes, se realizó un proceso de depuración, evitando con ello incongruencias o duplicidades de los mismos.

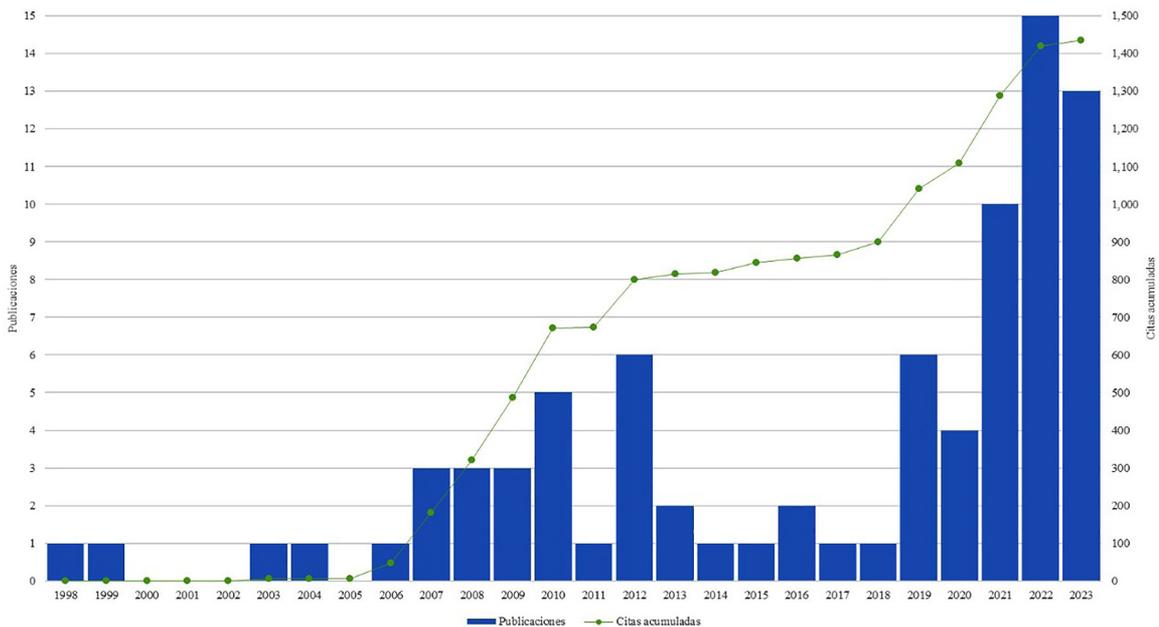
## RESULTADOS

### La producción de hidrógeno y la movilidad sostenible: un área en desarrollo

Para entender cómo la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible están evolucionando en términos de publicaciones, citas e impacto, en la Figura 1 se presenta su desempeño de manera conjunta, siendo que la comparación de los datos de manera individual puede resultar desproporcionada tal como se expone a continuación. Por un lado, las publicaciones relacionadas con la producción de hidrógeno suman 63,998 publicaciones desde 1937 hasta la fecha, siendo 2022 el año más representativo (2,007 publicaciones). En lo que respecta a las citas, tan solo en el último año se han registrado 59,744 citas (54,813 omitiendo los procesos

de autocitado) y un *h-index* de 472. Por otro lado, en términos de movilidad sostenible, la primera publicación relacionada con el campo se registra en 1992, acumulando 2,362 hasta la fecha. Estas publicaciones concentran un total de 32,363 citas (29,408 omitiendo los procesos de autocitado) y un *h-index* de 71.

En conjunto, ambas áreas de conocimiento y aplicación concentran un total de 82 publicaciones desde 1998 hasta 2023, siendo 2022 el año más productivo con 15 publicaciones y 258 citas. En términos de impacto, ambos ámbitos acumulan un total de 1,432 citas (1,400 omitiendo el proceso de autocitado) y un *h-index* de 23. Los resultados son relevantes tomando en cuenta los 25 años de evolución, siendo los últimos cinco los más representativos en cuanto a rendimiento de los indicadores evaluados.



**Figura 1.** Distribución de citas y publicaciones relacionadas con la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible en conjunto.

Atendiendo a la evolución antes descrita, en la Tabla 1 se presentan las búsquedas utilizadas para cada ámbito y en conjunto, así como las áreas de conocimiento más productivas con las que se relacionan y las principales fuentes académicas, científicas y tecnológicas. Estos indicadores permiten visualizar, que

una movilidad sostenible basada en la utilización de hidrógeno, actualmente se encuentra centrada en la producción del mismo como reto principal. De igual manera, se observa que dentro del alcance de esta nueva área es la sostenibilidad y el desarrollo de tecnologías limpias.

Descripción	(Publicaciones) Descripción		
Criterio de búsqueda y número de documentos disponibles	Producción de hidrógeno (A1)	Movilidad sostenible (A2)	Unión entre A1 y A2
	(TS=("hydrogen production") AND (DT=("ARTICLE" OR "PROCEEDINGS PAPER" OR "REVIEW") AND LA=("ENGLISH"))) n=63,998	(TS=("sustainable mobility") AND (DT=("ARTICLE" OR "PROCEEDINGS PAPER" OR "REVIEW") AND LA=("ENGLISH"))) n=2,362	(TS=("hydrogen" AND "hydrogen production" AND "sustainable mobility") AND (DT=("ARTICLE" OR "PROCEEDINGS PAPER" OR "REVIEW") AND LA=("ENGLISH"))) n=82
Áreas de conocimiento más productivas	(24,938) Energía y combustibles (24,907) Química física (≤12,469) 170 áreas de conocimiento	(585) Transporte (576) Ciencia y tecnología ecológicas y sostenibles (≤517) 113 áreas de conocimiento	(42) Energía y combustibles (19) Electroquímica (≤16) 37 áreas de conocimiento
Fuentes más productivas	(9,921) International Journal of Hydrogen Energy (1,352) Applied Catalysis B Environmental (≤1,152) 4,442 fuentes	(280) Sustainability (70) Transportation Research Procedia (≤52) 1,108 fuentes	(15) International Journal of Hydrogen Energy (5) Energies (≤4) 59 fuentes

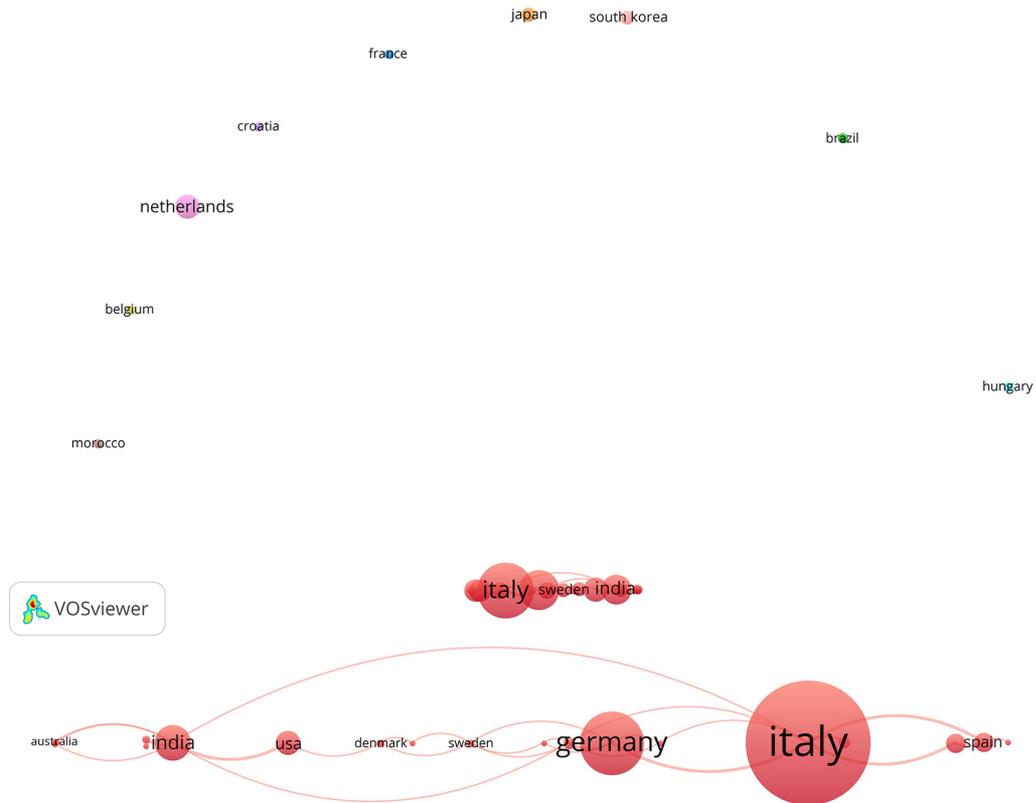
**Tabla 1.** Resultados bibliométricos sobre las áreas de conocimiento analizadas según los datos extraídos de la WoS.

En línea con el análisis de los indicadores relacionados con el desarrollo de una nueva área de conocimiento, resulta oportuno reconocer dónde y quiénes son los principales actores, a fin de localizar los esfuerzos de manera conjunta e individual, apoyando con ello la confección de un marco de referencia como objetivo de la presente investigación. En la Tabla 2 y Figura 2 se presentan los países más productivos para cada ámbito, así como en conjunto, con énfasis en la red más relevante (color rojo). En primera instancia destaca que, en términos de producción de hidrógeno, los países más relevantes son China, Estados Unidos, India, Japón y Corea del Sur, seguidos por Alemania, Italia, Canadá y España. Mientras que en términos de movilidad sostenible

son Italia, Alemania, España, Inglaterra, Estados Unidos, Portugal, Grecia, Países Bajos y Suecia. Es posible observar que la producción del hidrógeno presenta una participación con enfoque global, a diferencia de la búsqueda de una movilidad sostenible, donde se refleja un enfoque europeo, sin contar a los Estados Unidos. Este aspecto, previsiblemente corresponde al hecho de que los principales fabricantes de vehículos y empresas de transporte, son europeas y norteamericanas, a pesar de los grandes avances de empresas japonesas, coreanas y chinas. En conjunto, los países más relevantes son Italia, Alemania, India, Países Bajos, Estados Unidos, España, Suiza, Austria e Inglaterra, lo que refuerza la posición anterior.

Descripción	(Publicaciones) Descripción		
Criterio de búsqueda y número de documentos disponibles	Producción de hidrógeno (A1)	Movilidad sostenible (A2)	Unión entre A1 y A2
Países más productivos	(23,408) China (7,556) Estados Unidos (≤3,868) 143 países	(532) Italia (258) Alemania (≤201) 92 países	(31) Italia (16) Alemania (≤9) 30 países

**Tabla 2.** Resultados bibliométricos sobre los principales países y regiones analizadas según los datos extraídos de la WoS.



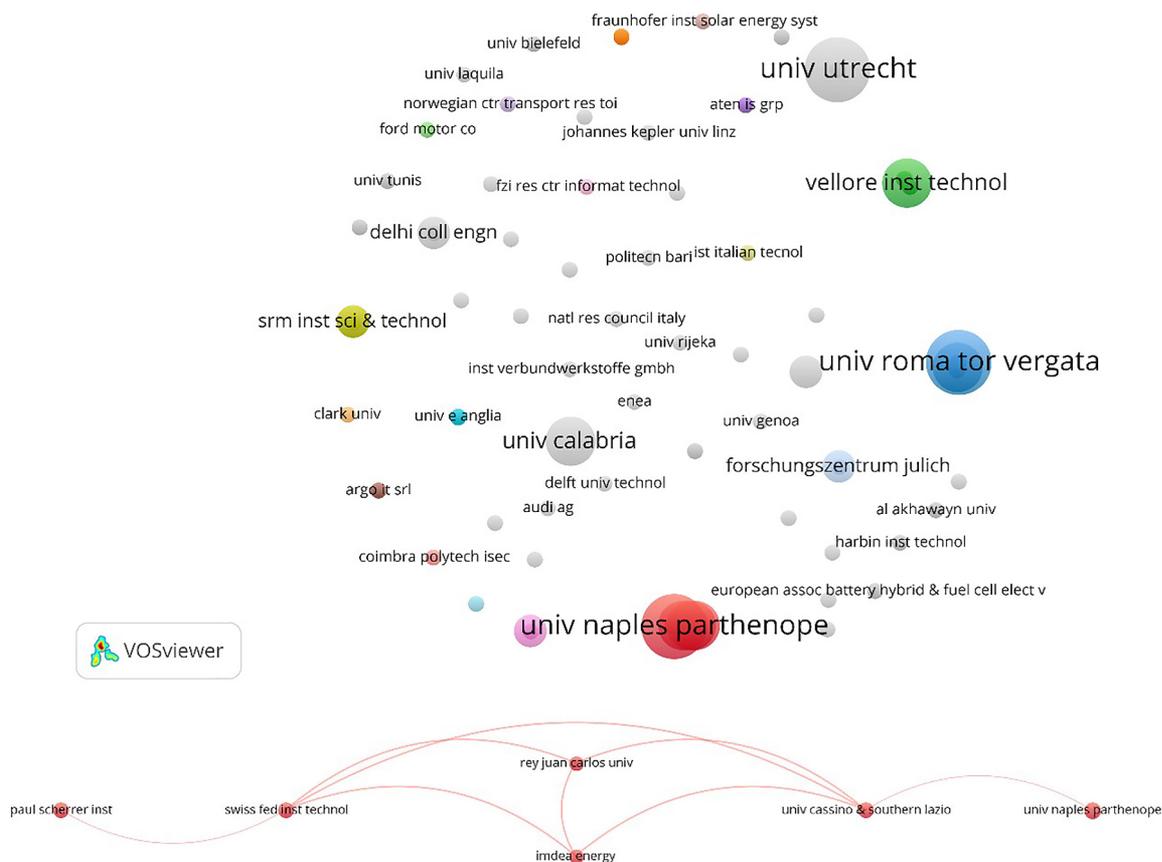
**Figura 2.** Países y regiones más relevantes en el ámbito de la producción de hidrógeno y movilidad sostenible según los datos extraídos de la WoS, con énfasis en la red más relevante (color rojo).

Similarmente, la Tabla 3 y Figura 3, presentan a las organizaciones más productivas y relevantes en el ámbito de la producción de hidrógeno y movilidad sostenible, con énfasis en la red más relevante (color rojo). En términos de producción de hidrógeno, las organizaciones corresponden con el enfoque por países y regional, al igual que en términos de movilidad sostenible, reiterando el enfoque global como punto de origen, y una especialización principalmente enfocada en Europa. En lo que respecta al conjunto, aun no se detecta un posicionamiento claro.

Un aspecto reseñable desde la perspectiva conjunta, es que dentro de los agentes europeos se presenta la mayor interacción y colaboración, aspectos claves a la hora del desarrollo conocimientos y aplicaciones conjuntas que impulsen la consolidación de una nueva área de conocimiento. Esta situación, viene dada por la especialización en el ámbito de la movilidad sostenible y los programas de investigación, desarrollo e innovación promovidos en conjunto en el marco europeo.

Descripción	(Publicaciones)	Descripción	
Criterio de búsqueda y número de documentos disponibles	Producción de hidrógeno (A1)	Movilidad sostenible (A2)	Unión entre A1 y A2
Organizaciones más productivas	(3,624) Chinese Academy of Sciences (1,498) United States Department of Energy (≤1,234) 12,905 organizaciones	(49) Aristotle University of Thessaloniki (43) Polytechnic University of Milan (≤39) 1,888 organizaciones	(10) Vellore Institute of Technology (5) Swiss Federal Institutes of Technology Domain (≤4) 136 organizaciones

**Tabla 3.** Resultados bibliométricos las organizaciones por áreas de conocimiento analizadas según los datos extraídos de la WoS.



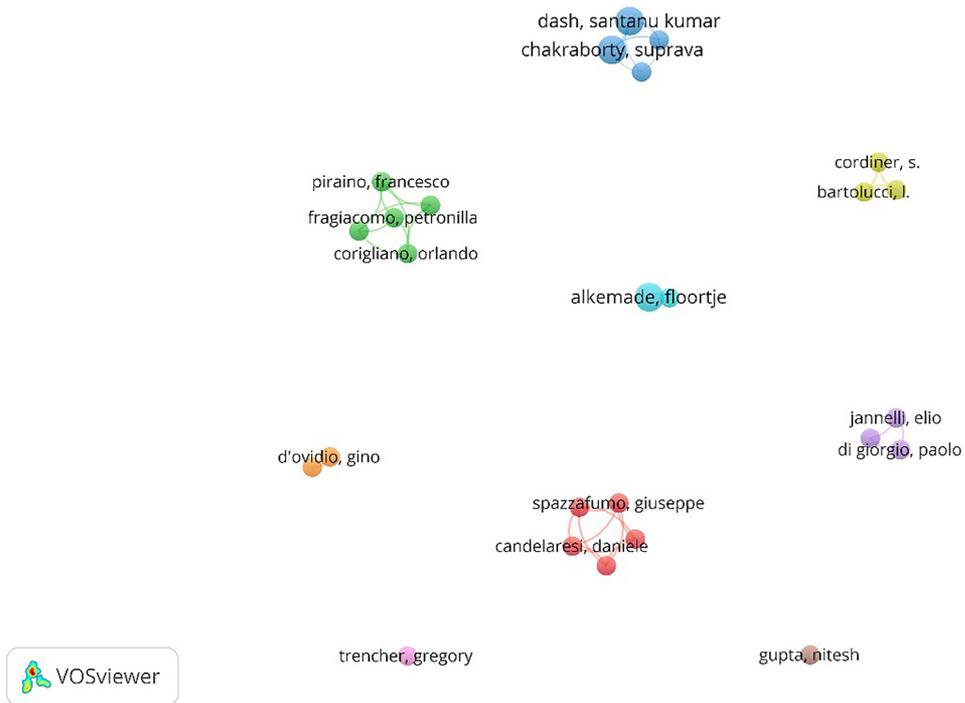
**Figura 3.** Organizaciones más productivas y relevantes en el ámbito de la producción de hidrógeno y movilidad sostenible según los datos extraídos de la WoS, con énfasis en la red más relevante (color rojo).

Aunando a lo anterior, en la Tabla 4 y Figura 4 se visualizan las redes de autoría que existen entre autores con al menos dos publicaciones en términos de producción de hidrógeno y movilidad sostenible. En este sentido, se observan grupos reducidos y sin interacción, lo que concuerda en cierta medida con el

hecho de que es un área en desarrollo y crecimiento. Sin embargo, esta condición también representa una condición de oportunidad, siendo que la colaboración entre agentes favorece la transferencia de conocimientos y por ende desarrollo de las áreas de conocimiento y aplicación.

Descripción		(Publicaciones) Descripción	
Criterio de búsqueda y número de documentos disponibles	Producción de hidrógeno (A1)	Movilidad sostenible (A2)	Unión entre A1 y A2
Autores más productivos	(604) Wang, Y. (478) Dincer, I. (≤461) 94,570 autores	(25) Basbas, S. (17) Bakogiannis, E. (≤16) 6,067 autores	(3) Alkemade, F., Bartolucci, L., Chakraborty, S., Cordiner, S., Corigliano, O., Dash, S.K., De Lorenzo, G., Di Giorgio, P., Di Ilio, G., Fragiaco, P., Genovese, M., Jannelli, E., Mulone, V., Piraino, F. (≤2) 226 autores

**Tabla 4.** Resultados bibliométricos de los autores según las áreas de conocimiento analizadas según los datos extraídos de la WoS.



**Figura 4.** Autores más productivos y relevantes en el ámbito de la producción de hidrógeno y movilidad sostenible según los datos extraídos de la WoS.

En este sentido, a continuación, se presentan las principales publicaciones utilizando el *h-index*

y *H-Classics*, a fin de reconocer cuáles son que marcan la evolución de la literatura (Tabla 5).

Pos.	Año	Título	Autores	Fuente	Citas (Promedio por año)
1	2009	A transitions model for sustainable mobility	Koehler, Jonathan; Whitmarsh, Lorraine; Nykvist, Bjorn; Schilperoord, Michel; Bergman, Noam; Haxeltine, Alex	Ecological Economics	154 (10,27)
2	2007	Sustainable mobility: from technological innovation to societal learning	Vergragt, Philip J.; Brown, Halina Szejnwald	Journal of Cleaner Production	92 (5,41)
3	2012	Patterns of expectations for emerging sustainable technologies	Alkemade, Floortje; Suurs, Roald A. A.	Technological Forecasting and Social Change	90 (7,50)
4	2010	The car industry and the blow-out of the hydrogen hype	Bakker, Sjoerd	Energy Policy	76 (5,43)
5	2008	Effect of hydrogen on the mechanical properties of stainless steels	Borchers, Christine; Michler, Thorsten; Pundt, Astrid	Advanced Engineering Materials	71 (4,44)
6	2008	Experimental tests of blends of hydrogen and natural gas in light-duty vehicles	Ortenzi, Fernando; Chiesa, Maria; Scarcelli, Riccardo; Pede, Giovanni	International Journal of Hydrogen Energy	69 (4,31)
7	2010	Initial infrastructure development strategies for the transition to sustainable mobility	Huetink, Floris J.; van der Vooren, Alexander; Alkemade, Floortje	Technological Forecasting and Social Change	56 (4,00)
8	2010	Analysis of barriers in the transition toward sustainable mobility in the Netherlands	Farla, Jacco; Alkemade, Floortje; Suurs, Roald A. A.	Technological Forecasting and Social Change	46 (3,29)

Pos.	Año	Título	Autores	Fuente	Citas (Promedio por año)
9	2007	Fuel cell or battery: Electric cars are the future	Van Mierlo, J.; Maggetto, G.	Fuel Cells	42 (2,47)
10	2019	Optimized electrolyzer operation: Employing forecasts of wind energy availability, hydrogen demand, and electricity prices	Grueger, F.; Hoch, O.; Hartmann, J.; Robinius, M.; Stolten, D.	International Journal of Hydrogen Energy	41 (8,2)
11	2006	Energy system aspects of hydrogen as an alternative fuel in transport	Ramesohl, S; Merten, F	Energy Policy	40 (2,22)
12	2021	Comparative life cycle assessment of hydrogen-fuelled passenger cars	Candelaresi, Daniele; Valente, Antonio; Iribarren, Diego; Dufour, Javier; Spazzafumo, Giuseppe	International Journal of Hydrogen Energy	38 (12,67)
13	2019	Comparison of advanced fuels-Which technology can win from the life cycle perspective?	Rosenfeld, Daniel C.; Lindorfer, Johannes; Fazeni-Fraisl, Karin	Journal of Cleaner Production	38 (7,6)
14	2020	Strategies to accelerate the production and diffusion of fuel cell electric vehicles: Experiences from California	Trencher, Gregory	Energy Reports	37 (9,25)
15	2018	Policy recommendations for a transition to sustainable mobility based on historical diffusion dynamics of transport systems	Leibowicz, Benjamin D.	Energy Policy	35 (5,83)
16	2019	Mitigating urban heat island effect and carbon dioxide emissions through different mobility concepts: Comparison of conventional vehicles with electric vehicles, hydrogen vehicles and public transportation	Kolbe, Karin	Transport Policy	34 (6,8)
17	2021	Drivers and Barriers to the Adoption of Fuel Cell Passenger Vehicles and Buses in Germany	Trencher, Gregory; Edianto, Achmed	Energies	31 (10,33)
18	2021	Preliminary design of a fuel cell/battery hybrid powertrain for a heavy-duty yard truck for port logistics	Di Ilio, G.; Di Giorgio, P.; Tribioli, L.; Bella, G.; Jannelli, E.	Energy Conversion and Management	30 (10)
19	2012	Strategic niche management of alternative fuel vehicles: A system dynamics model of the policy effect	Kwon, Tae-hyeong	Technological Forecasting and Social Change	29 (2,42)
20	2021	Toward Holistic Energy Management Strategies for Fuel Cell Hybrid Electric Vehicles in Heavy-Duty Applications	Rudolf, Thomas; Schurmann, Tobias; Schwab, Stefan; Hohmann, Soren	Proceedings of the IEEE	26 (8,67)
21	2015	Simulating resistances in innovation diffusion over multiple generations: an agent-based approach for fuel-cell vehicles	Zsifkovits, Martin; Guenther, Markus	Central European Journal of Operations Research	25 (2,78)
22	2022	Hydrogen Fuel for Future Mobility: Challenges and Future Aspects	Dash, Santanu Kumar; Chakraborty, Suprava; Roccotelli, Michele; Sahu, Umesh Kumar	Sustainability	24 (12,00)
23	2022	A comprehensive review on the current trends, challenges and future prospects for sustainable mobility	Jeyaseelan, Thangaraja; Ekambaram, Porpatham; Subramanian, Jayagopal; Shamim, Tariq	Renewable & Sustainable Energy Reviews	23 (11,50)

**Tabla 5.** Publicaciones más relevantes en el ámbito de la producción de hidrógeno y movilidad sostenible según el *h-index* conjunto



Agrupaciones temáticas (cluster) (color   ocurrencias   vinculaciones)	Temas (ocurrencias   vínculos)
Hidrógeno sostenible (verde   101   507)	hydrogen and natural gas blends (31   128), internal combustion engines (10   58), alternative fuels (9   44), emission characteristics (9   50), technology acceptance model (9   56), co2 emissions (8   42), life cycle assessment (6   39), sustainability (6   23), environmental impacts (3   23), biodiesel (2   3), cogeneration process (2   4), e-fuels (2   6), renewable energy (2   14), road transport (2   17)
Transformación en la movilidad (azul   82   471)	sustainable mobility (27   151), electric vehicles (12   74), future mobility (5   40), early adopters (4   25), fuel cell electric vehicles (4   28), fuel cell technology (4   10), hydrogen vehicles (4   24), automotive industry (3   16), batteries (3   19), battery electric vehicles (3   25), technological innovation (3   13), energy storage (2   6), market penetration (2   9), passenger compartment (2   10), policy mixes (2   16), ultracapacitors (2   5)
Tecnologías del hidrógeno (rojo   72   413)	fuel cell vehicles (12   69), natural-gas engine (8   57), storage systems (7   47), decarbonization (5   23), management strategy (4   17), plug-in fuel cell vehicle (4   21), biomass (3   5), greenhouse-gas emissions (3   23), hydrogen storage (3   16), water management (3   18), battery thermal management (2   9), climate change (2   17), green hydrogen production (2   13), hydrogen fuel (2   17), hydrogen fuel cells (2   7), hydrogen mobility (2   12), hydrogen production (2   11), lithium-ion batteries (2   14), metal hydrides (2   9), polymer electrolyte membrane fuel cell system (2   8)
Tecnologías de transporte (amarillo   50   283)	vehicle technologies (10   58), hybrid electric vehicles (9   55), energy economy (7   45), hydrogen economy (4   19), electrolysis process (3   16), energy consumption (3   20), hydrogen refueling, infrastructure, mobility (3   15), infrastructure development (3   13), agent-based model (2   7), electrolyzer technology (2   11), technoeconomic analysis (2   14), technological change (2   10)
Fuentes alternativa (morado   42   198)	fuel cell system (13   49), sustainable transport (8   36), urban mobility (5   31), air quality (3   17), energy management strategies (3   17), biofuels (2   6), energy storage system (2   6), flywheel energy storage system (2   10), public transportation (2   13), strategic planning (2   13)

**Table 6.** Temas y agrupaciones temáticas más relevantes en el ámbito de la producción de hidrógeno y movilidad sostenible según los datos extraídos de la WoS.

En la Tabla 6 y Figura 5 se identifican las agrupaciones temáticas (cluster) resultados de las áreas de conocimiento y aplicación analizadas, mismas que se pueden describir en los siguientes grupos: Hidrógeno sostenible (verde | 101 | 507), Transformación en la movilidad (azul | 82 | 471), Tecnologías del hidrógeno (rojo | 72 | 413), Tecnologías de transporte (amarillo | 50 | 283) y Fuentes alternativa (morado | 42 | 198).

En primer lugar, se identifica que el hidrógeno sostenible es la clave para una movilidad del futuro, ya que se produce a partir de fuentes de energía renovable. Su producción libera cero emisiones de carbono, lo que lo convierte en un vector energético limpio y versátil. En la movilidad, se utiliza para alimentar vehículos de hidrógeno con celdas de combustible, ofreciendo una alternativa sin emisiones a los vehículos convencionales, al tiempo que contribuye a la descarbonización del transporte.

Sin embargo, lo anterior implica la transformación del concepto de movilidad como se entiende actualmente, pasando de vehículos con motores de combustión interna a tecnologías más limpias, como vehículos eléctricos e impulsados por hidrógeno. Esta revolución en el transporte busca mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire en áreas urbanas. La movilidad sostenible fomenta la utilización de sistemas de transporte amigables con el medio ambiente y más eficientes, promoviendo alternativas como el transporte público, el ciclismo y el uso compartido de vehículos.

Por su parte, las tecnologías del hidrógeno son esenciales en la movilidad sostenible, ya que incluyen la producción, almacenamiento y uso del hidrógeno como vector energético. Esto abarca desde la electrólisis del agua, que produce hidrógeno “verde” a partir de energía renovable, hasta las pilas de combustible que

convierten el hidrógeno en electricidad para propulsar vehículos. Las tecnologías de almacenamiento y transporte de hidrógeno son fundamentales para garantizar un suministro fiable y eficiente en la movilidad sostenible. Por otro lado, en el contexto de la movilidad sostenible, las tecnologías de transporte se refieren a los avances en vehículos limpios, como automóviles eléctricos y vehículos de hidrógeno. Estas tecnologías buscan mejorar la eficiencia energética y reducir las emisiones de carbono en el transporte. Además, la infraestructura de carga y suministro de combustible, que facilita la recarga de baterías o la adquisición de hidrógeno, es esencial para promover la adopción de estas tecnologías limpias. Además, las fuentes de energía alternativas son cruciales para la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible. Esto incluye la generación de electricidad a partir de fuentes renovables, como paneles solares y turbinas eólicas, que alimentan la producción de hidrógeno “verde”. La utilización de estas fuentes de energía alternativas contribuye a la promoción de un sistema de movilidad más limpio y sostenible, y por ende a la reducción de emisiones de carbono.

Tomando en cuenta lo anterior, la producción de hidrógeno sostenible y la movilidad sostenible plantean una serie de retos y oportunidades significativos desde el punto de vista científico, tecnológico e industrial.

Desde el punto de vista científico, uno de los desafíos clave en la producción de hidrógeno sostenible radica en la investigación de nuevos materiales y tecnologías para la electrólisis del agua de manera más eficiente y económica. Se buscan avances en la catálisis, la nanotecnología y la química de materiales para desarrollar electrodos y membranas más efectivos. Además, se necesita una comprensión más profunda de la interacción entre las fuentes de energía renovable y la producción de hidrógeno para optimizar los procesos. En términos tecnológicos, la infraestructura es un reto crítico en la movilidad sostenible. La creación de una red de estaciones de servicio de hidrógeno y estaciones de carga para vehículos eléctricos es esencial, lo que requiere inversiones masivas en tecnologías de almacenamiento y distribución de hidrógeno. La interoperabilidad y la estandarización de estas tecnologías son cruciales para garantizar la adopción generalizada.

Desde una perspectiva industrial, la transición hacia una economía del hidrógeno sostenible representa oportunidades significativas. Las empresas están invirtiendo en la investigación y el desarrollo de tecnologías de producción de hidrógeno y pilas de combustible más eficientes. Esto conlleva el potencial de generar empleos y fomentar la innovación a medida que las industrias buscan liderar en este nuevo mercado. Además, la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible representan oportunidades para la diversificación económica. Países que lideran en estas áreas pueden convertirse en exportadores de tecnología y energía, lo que aporta ingresos y estabilidad económica a largo plazo.

En resumen, los retos científicos y tecnológicos en la producción de hidrógeno y la infraestructura de movilidad sostenible son enormes, pero ofrecen oportunidades para la innovación y el crecimiento económico. La inversión en investigación y desarrollo, la colaboración entre sectores y la adopción de políticas de apoyo son esenciales para aprovechar al máximo estas oportunidades y enfrentar los desafíos de manera efectiva en el camino hacia una economía más limpia y sostenible.

En términos de evolución, en la Figura 6 se presentan las líneas de investigación que han dado pauta a esta nueva área de conocimiento, y en cuáles se están centrando actualmente los esfuerzos; manteniendo obviamente la apertura y relación entre todas ellas.

En los próximos años, se anticipan una serie de acciones clave para avanzar en la producción de hidrógeno sostenible y la transformación en la movilidad desde una perspectiva científica, tecnológica e industrial. En el ámbito científico, se espera un mayor enfoque en la investigación de materiales avanzados y procesos de electrólisis para mejorar la eficiencia y reducir los costos de producción de hidrógeno. Además, se buscará una comprensión más profunda de la interacción entre las fuentes de energía renovable y la producción de hidrógeno, lo que permitirá la optimización de la producción. Tecnológicamente, se verá un aumento en la inversión en infraestructura para la movilidad sostenible. Esto incluirá la expansión de la red de estaciones de servicio de hidrógeno y la implementación de sistemas de carga rápida para vehículos eléctricos. La estandarización



abren nuevas oportunidades en la producción, almacenamiento y transporte de hidrógeno, lo que impulsa la innovación y la inversión en este campo. Asimismo, la movilidad sostenible se ha convertido en un tema central en la agenda global debido a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire en entornos urbanos. El cambio hacia vehículos eléctricos, incluidos los vehículos de hidrógeno, está transformando la industria del transporte y promoviendo tecnologías más limpias y eficientes. La infraestructura de carga y distribución de hidrógeno está en constante expansión, lo que facilita la adopción de estas tecnologías.

Al mismo tiempo, la combinación de la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible ofrece soluciones integrales para los retos globales. Estas áreas de conocimiento y aplicación no solo reducen las emisiones de carbono y la contaminación del aire, sino que también contribuyen a la mitigación del cambio climático y a la descarbonización de múltiples sectores, desde el transporte hasta la generación de energía. Además, representan una oportunidad económica significativa al estimular la inversión en tecnologías limpias y alentar la creación de empleos en industrias relacionadas, aspectos que, si bien no se reflejan desde un punto de vista bibliométrico, se sabe que influirán en la productividad e impacto de actuales y futuras investigaciones.

Por otro lado, la creciente relevancia de la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible tienen profundas implicaciones desde el punto de vista científico y tecnológico según los temas identificados en los mapas científicos y la evolución de estos. En el ámbito científico, estas áreas generan una creciente demanda de investigaciones interdisciplinarias. Se requiere un entendimiento profundo de la química de materiales, la física y la ingeniería para desarrollar tecnologías más eficientes y rentables en la producción de hidrógeno y el diseño de vehículos limpios. Además, la investigación en ciencias ambientales es crucial para evaluar y mitigar los impactos ambientales de estas tecnologías. Desde una perspectiva tecnológica, el desarrollo de tecnologías de producción de hidrógeno más avanzadas y la expansión de infraestructuras de movilidad sostenible son desafíos técnicos significativos. La optimización de sistemas

de electrólisis, el almacenamiento de hidrógeno y las pilas de combustible requieren avances tecnológicos continuos. La creación de una infraestructura de carga de hidrógeno y la expansión de redes eléctricas inteligentes son desafíos logísticos y de ingeniería. Todo ello, atendiendo a un enfoque empresarial, ya que, sin la aplicación y aceptación de dichos avances, el interés en los mismos puede verse afectado.

Tomando en cuenta lo anterior, los retos desde la perspectiva bibliométrica incluyen el mantenimiento sostenido del rendimiento, en términos de producción e impacto, así como la mejora de actividades colaborativas entre agentes y autores. De la misma manera se puede mencionar la necesidad de superar barreras económicas, como los altos costos iniciales de inversión y la necesidad de incentivos gubernamentales. La estandarización de tecnologías y protocolos es esencial para garantizar la interoperabilidad y la aceptación global. Las oportunidades radican en la innovación tecnológica y la creación de empleos en estas industrias en crecimiento. A medida que la investigación científica y los avances tecnológicos continúan, se espera que estas áreas desempeñen un papel fundamental en la construcción de un futuro más limpio y sostenible.

Finalmente, como tendencias y oportunidades se identifican: *e-fuels* (Verde | 2 | 6), *energy storage system* (Morado | 2 | 6), *hydrogen storage* (Rojo | 3 | 16), *batteries* (Azul | 3 | 19), *electrolysis process* (Amarillo | 3 | 16) e *hydrogen vehicles* (Azul | 4 | 24), principalmente. Ya que, en la actualidad, es posible observar una marcada tendencia hacia la adopción de tecnologías clave que están transformando la producción de hidrógeno y la movilidad sostenible. Por un lado, los combustibles sintéticos, derivados de fuentes renovables, emergen como alternativas cruciales para reducir la dependencia de combustibles fósiles, ofreciendo una vía hacia la descarbonización. Los sistemas avanzados de almacenamiento de energía desempeñan un papel esencial al permitir una gestión eficiente de la energía renovable, facilitando la integración del hidrógeno verde en la red eléctrica. Además, la producción de hidrógeno, impulsada por procesos de electrólisis alimentados por energía renovable, está ganando terreno como una solución sostenible. Este hidrógeno “verde” se presenta como una opción limpia y versátil

para diversos sectores, desde la industria hasta el transporte. Las baterías y los nuevos medios de transporte, como vehículos eléctricos y formas innovadoras de movilidad, están redefiniendo el panorama de la movilidad sostenible. La convergencia de estas tecnologías representa un cambio significativo hacia un sistema energético más limpio y una movilidad menos dependiente de combustibles convencionales, allanando el camino hacia un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Este impulso hacia la descarbonización refleja una respuesta a los desafíos climáticos y la búsqueda de soluciones más eficientes y amigables con el medio ambiente.

### Agradecimientos

La autora agradece el apoyo del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), de la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ) y del Consejo Zacatecano de Ciencia, Tecnología e Innovación (COZCYT) para la realización de este estudio.

### Conflicto de intereses

La autora declara no tener ningún conflicto de intereses.

### Declaración de consentimiento de datos

Los datos se incluyen en el estudio. ●

### REFERENCIAS

- AHMED, M. R., BARUA, T., & DAS, B. K. (2023). A comprehensive review on techno-environmental analysis of state-of-the-art production and storage of hydrogen energy: challenges and way forward. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45(2), 5905-5937. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15567036.2023.2211029>
- CALANDRA, D., WANG, T. D., CANE, M., & ALFIERO, S. (2023). Management of hydrogen mobility challenges: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 137305. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137305>
- DASH, S. K., CHAKRABORTY, S., & ELANGOVAN, D. (2023). A brief review of hydrogen production methods and their challenges. *Energies*, 16(3), 1141. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3390/en16031141>
- FALCONE, P. M., HIETE, M., & SAPIO, A. (2021). Hydrogen economy and sustainable development goals: Review and policy insights. *Current opinion in green and sustainable chemistry*, 31, 100506. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100506>
- FURSTENAU, L. B., SOTT, M. K., KIPPER, L. M., MACHADO, Ê. L., LÓPEZ-ROBLES, J. R., DOHAN, M. S., ... IMRAN, M. A. (2020). Link between sustainability and industry 4.0: trends, challenges and new perspectives. *Ieee Access*, 8, 140079-140096. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3012812>
- GAMBOA-ROSALES, N. K., AYASTUY-ARIZTI, J. L., GAMBOA-ROSALES, H., GALVÁN-TEJADA, C. E., LUNA-GARCÍA, H., GALVÁN-TEJADA, J. I., ... LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2019). *Past, current and future of fuel cell technologies: A bibliometric analysis of the research published during the 1968-2018 period*. VII Symposium on Hydrogen, Fuel Cells and Advanced Batteries (HYCELTEC 2019), Barcelona (Spain).
- GAMBOA-ROSALES, N. K., AYASTUY-ARIZTI, J. L., OTEGI-OLASO, J. R., & LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2019). *Research overview of hydrogen production from biomass: A bibliometric analysis of the research published during the 1979-2019 period*. VII Symposium on Hydrogen, Fuel Cells and Advanced Batteries (HYCELTEC 2019), Barcelona (Spain).
- GAMBOA-ROSALES, N. K., CELAYA-PADILLA, J. M., HERNANDEZ-GUTIERREZ, A. L., MORENO-BAEZ, A., GALVÁN-TEJADA, C. E., GALVÁN-TEJADA, J. I., ... LÓPEZ-ROBLES, J. R. (2020). Visualizing the Intellectual Structure and Evolution of Intelligent Transportation Systems: A Systematic Analysis of Research Themes and Trends. *Sustainability*, 12(21), 8759. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su12218759>
- GUTIÉRREZ-SALCEDO, M., MARTÍNEZ, M. Á., MORAL-MUÑOZ, J. A., HERRERA-VIEDMA, E., & COBO, M. J. (2018). Some bibliometric procedures for analyzing and evaluating research fields. *Applied Intelligence*, 48(5), 1275-1287. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10489-017-1105-y>

- HÄUSSERMANN, J. J., MAIER, M. J., KIRSCH, T. C., KAISER, S., & SCHRAUDNER, M. (2023). Social acceptance of green hydrogen in Germany: building trust through responsible innovation. *Energy, Sustainability and Society*, 13(1), 1-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13705-023-00394-4>
- HERRERA-VIEDMA, E., LÓPEZ-ROBLES, J. R., GUALLAR, J., & COBO, M. J. (2020). Global trends in coronavirus research at the time of Covid-19: A general bibliometric approach and content analysis using SciMAT. *El profesional de la información*, 29(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.3145/epi.2020.may.22>
- HERRERA, F., HERRERA-VIEDMA, E., ALONSO, S., & CABRERIZO, F.-J. (2009). Aggregation of bibliometric indices to evaluate the scientific production of researchers [Article]. *El profesional de la información*, 18(5), 559-561. <https://doi.org/https://doi.org/10.3145/epi.2009.sep.11>
- HOSSEINI, S. E., & BUTLER, B. (2020). An overview of development and challenges in hydrogen powered vehicles. *International Journal of Green Energy*, 17(1), 13-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1685999>
- HWANG, J., MAHARJAN, K., & CHO, H. (2023). A review of hydrogen utilization in power generation and transportation sectors: Achievements and future challenges. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.024>
- ISHAQ, H., DINCER, I., & CRAWFORD, C. (2022). A review on hydrogen production and utilization: Challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(62), 26238-26264. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.11.149>
- KAR, S. K., HARICHANDAN, S., & ROY, B. (2022). Bibliometric analysis of the research on hydrogen economy: an analysis of current findings and roadmap ahead. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(20), 10803-10824. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.137>
- LÓPEZ-ROBLES, J. R., OTEGI-OLASO, J. R., PORTO-GÓMEZ, I., & COBO, M. J. (2019). 30 years of intelligence models in management and business: A bibliometric review. *International Journal of Information Management*, 48, 22-38. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.013>
- LÓPEZ-ROBLES, J. R., OTEGI-OLASO, J. R., PORTO-GÓMEZ, I., GAMBOA-ROSALES, H., & GAMBOA-ROSALES, N. K. (2020). Understanding the intellectual structure and evolution of Competitive Intelligence: A bibliometric analysis from 1984 to 2017. *Technology Analysis & Strategic Management*, 32(5), 604-619. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09537325.2019.1686136>
- MOED, H. F., BURGER, W. J. M., FRANKFORT, J. G., & VAN-RAAN, A. F. J. (1985). A comparative study of bibliometric past performance analysis and peer judgement. *Scientometrics*, 8(3-4), 149-159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF02016933>
- MOED, H. F., DE BRUIN, R., & VAN LEEUWEN, T. H. (1995). New bibliometric tools for the assessment of national research performance: Database description, overview of indicators and first applications. *Scientometrics*, 33(3), 381-422. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/bf02017338>
- NALLAPANENI, A., & KSHIRSAGAR, S. (2024). Global hydrogen economy and hydrogen strategy overview. In *Towards Hydrogen Infrastructure* (pp. 59-74). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95553-9.00002-9>
- NOUSSAN, M., RAIMONDI, P. P., SCITA, R., & HAFNER, M. (2020). The role of green and blue hydrogen in the energy transition—A technological and geopolitical perspective. *Sustainability*, 13(1), 298. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13010298>
- NOYAN, O. F., HASAN, M. M., & PALA, N. (2023). A Global Review of the Hydrogen Energy Eco-System. *Energies*, 16(3), 1484. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en16031484>
- OTAKI, T., & SHAW, R. (2023). The Potential of Collaboration between India and Japan in the Hydrogen Sector. *Energies*, 16(8), 3596. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en16083596>
- OTEGI-OLASO, J. R., LÓPEZ-ROBLES, J. R., & GAMBOA-ROSALES, N. K. (2019). *Responsible Project Management to face urgent world crisis and regional conflicts*. Birzeit University - Project Management, Birzeit, Palestine.

- SANDAKA, B. P., & KUMAR, J. (2023). Alternative vehicular fuels for environmental decarbonization: A critical review of challenges in using electricity, hydrogen, and biofuels as a sustainable vehicular fuel. *Chemical Engineering Journal Advances*, 100442. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.100442>
- SINGH, R., SINGH, M., & GAUTAM, S. (2021). Hydrogen economy, energy, and liquid organic carriers for its mobility. *Materials Today: Proceedings*, 46, 5420-5427. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.065>
- SOTT, M. K., FURSTENAU, L. B., KIPPER, L. M., RODRIGUES, Y. P. R., LÓPEZ-ROBLES, J. R., GIRALDO, F. D., & COBO, M. J. (2021). Process modeling for smart factories: using science mapping to understand the strategic themes, main challenges and future trends. *Business Process Management Journal*, 27(5), 1391-1417. <https://doi.org/https://doi.org/10.1108/BPMJ-05-2020-0181>
- WANNIARACHCHI, S., HEWAGE, K., WIRASINGHE, C., CHHIPI-SHRESTHA, G., KARUNATHILAKE, H., & SADIQ, R. (2023). Transforming road freight transportation from fossils to hydrogen: Opportunities and challenges. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(5), 552-572. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/15568318.2022.2068389>

