EIEI ACOFI 2025
5º Congreso Latinoamericano de Ingeniería
Más Información: www.acofi.edu.co/eiei
Ingeniería de impacto para cuidar y transformar la vida
ACOFI: 50 años por la excelencia de la educación en ingeniería.

Toma de decisiones en la cadena de suministro de hidrógeno verde: un mapeo sistemático de literatura

César Vargas [a, b], Alexandra Duarte [c], Óscar Franco [d]

[a] Universidad de Manizales. Manizales, Colombia
[b, c, d] Universidad de Caldas. Manizales, Colombia

Resumen

El hidrógeno verde es una alternativa de solución sostenible para contribuir en la transición enérgica hacia combustibles más amigables con el medio ambiente, permitiendo de esta manera reducir las emisiones de CO_2 que han afectado en el calentamiento global. En este sentido, el H_2 ha impulsado en países como Francia, Alemania, Inglaterra, China, Corea del Sur y otros, el desarrollo de la cadena de suministro, creando así la necesidad de comprender y optimizar los procesos de toma de decisiones asociados con este campo de estudio emergente.

De este modo, la presente investigación presenta un mapeo sistemático de literatura (MSL) en la toma de decisiones de la gestión de la cadena de suministro del hidrógeno verde (GHSC), empleando la metodología PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) para analizar sistemáticamente las contribuciones académicas publicadas entre los años 2005 al 2025 en las bases de datos de Scopus y Web of Science. El análisis bibliométrico, realizado mediante Bibliometrix en RStudio, revela tendencias significativas en el desarrollo de modelos de optimización, análisis multicriterio y evaluación de riesgos en la GHSC. Los resultados identifican patrones emergentes en la integración de aspectos técnico-económicos, ambientales y sociales que permiten considerar algunos aspectos significativos que apoyan la toma de decisiones, así como oportunidades de investigación en áreas como la resiliencia operacional y la sostenibilidad. Este estudio contribuye a la literatura proporcionando una visión holística de los enfoques decisionales en la GHSC y estableciendo una base para futuras investigaciones en este campo.

Palabras clave: cadena de suministro; hidrógeno; toma de decisiones; PRISMA

DOI: https://doi.org/10.26507/paper.4393

Abstract

Green hydrogen is a sustainable alternative solution to contribute to the energetic transition towards more environmentally friendly fuels, thus reducing CO2 emissions that have contributed to global warming. In this sense, H2 has driven in countries such as France, Germany, England, China, South Korea and others, the development of the supply chain, thus creating the need to understand and optimize the decision-making processes associated with this emerging field of study.

Thus, the present research presents a systematic literature mapping (SLM) in green hydrogen supply chain management (GHSC) decision making, employing the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) methodology to systematically analyze scholarly contributions published between the years 2005 to 2025 in the Scopus and Web of Science databases. The bibliometric analysis, performed using Bibliometrix in RStudio, reveals significant trends in developing optimization models, multi-criteria analysis, and risk assessment in GHSC. The results identify emerging patterns in integrating technical-economic, environmental, and social aspects that allow considering some significant aspects that support decision making and research opportunities in areas such as operational resilience and sustainability. This study contributes to the literature by providing a holistic view of decisional approaches in ghsc and establishing a basis for future research in this field.

Keywords*: supply chain; hydrogen; decision making; PRISMA*

1. Introducción

La transición energética hacia fuentes renovables y la necesidad de reducir las emisiones de CO_2 han convertido al H_2 en una opción sostenible frente a los combustibles fósiles (Ozawa et al., 2019). En este contexto, la GHSC adquiere especial importancia, ya que abarca procesos críticos como la producción, el almacenamiento, el transporte y la distribución, cada uno de ellos esenciales para mejorar la eficiencia de la cadena, minimizar costos y maximizar la sustentabilidad que son necesarios para la toma de decisiones, involucrando una serie de aspectos clave que requieren la integración de conocimientos provenientes de diversas investigaciones. Este estudio se fundamenta en el análisis de trabajos previos, permitiendo así alcanzar una comprensión integral de los procesos y desafíos inherentes a la cadena de suministro del hidrógeno (HSC).

Debido a lo anterior, el presente proyecto de investigación resulta fundamental, ya que analiza los objetivos, métodos y resultados alcanzados en estudios recientes para identificar y categorizar, de forma crítica, los enfoques metodológicos existentes. Este análisis permite detectar vacíos en el conocimiento, destacar tendencias emergentes y señalar áreas potenciales de investigación que contribuyan al desarrollo robusto y sostenible de la GHSC. En este sentido, se ha llevado a cabo un MSL sobre la toma de decisiones en la GHSC, empleando la metodología PRISMA conforme a lo trabajado por Rahardjo et al. (2025), lo que garantiza una revisión sistemática reproducible y transparente.

Para abordar el MSL, el presente trabajo está estructurado de la siguiente manera: La Sección 2 examina el estado del arte de trabajos recientes de la GHSC. La Sección 3 detalla la revisión sistemática de la literatura con la metodología PRISMA. La sección 4 se muestra el análisis de los resultados, la Sección 5 las conclusiones del estudio. Por último, la Sección 6 se realizan las referencias bibliográficas.

2. Estado del arte de la literatura

El análisis de la GHSC requiere abordar la sostenibilidad desde tres ejes fundamentales: técnico-económico, ambiental y social, tal como lo destacan De-León Almaraz & Azzaro-Pantel (2017a). En el aspecto técnico-económico, por ejemplo, Janmontree et al. (2025) evaluaron el proceso aguas arriba de la GHSC mediante el uso de energía solar para la producción de H_2 mediante la electrólisis del agua. El estudio identificó ubicaciones potenciales para instalaciones de energía solar fotovoltaica, basándose en criterios geográficos, climáticos y de irradiación solar. El análisis se aplicó con el enfoque de *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA), que permitió estimar la eficiencia en la producción de H_2 al evaluar el volumen de producción y los costos asociados a cada sitio. La metodología utilizada, fundamentada en el *Entropy Weight Method* (EWM), facilitó una ponderación precisa de los criterios decisorios, logrando identificar a Halle (Saale) como la ubicación óptima por su eficiencia y menor costo. Además, los resultados indicaron que aproximadamente el 57% de las alternativas evaluadas en Sajonia-Anhalt (Alemania) mostraron ser relativamente eficientes, aunque se evidenciaron desafíos técnicos pendientes, especialmente en relación con la eficiencia del almacenamiento de H_2 y el impacto de la demanda del mercado. El estudio subraya, asimismo, la necesidad de mejorar la calidad de los datos y de realizar análisis de sensibilidad robustos en los procesos de toma de decisiones para evitar sesgos.

En otro enfoque, De-León Almaraz et al. (2015) analizaron el efecto del cambio de escalas espaciales de regional a nacional con demanda homogénea. sobre la aplicación de modelos matemáticos a través de escalas geográficas. Destaca la importancia del análisis multiescala para la toma de decisiones en las HSC. El estudio emplea la programación lineal de enteros mixtos para formular un problema de optimización que integrara el costo, el potencial de calentamiento global (GWP) y el riesgo, mientras que la aplicación de un sistema de información geográfica (SIG), en este caso ArcGIS®, facilitó la visualización del impacto de las restricciones geográficas a lo largo de diversas escalas territoriales. No obstante, las brechas actuales en el modelado de la HSC se relacionan con la distribución espacial de las estaciones de producción y repostaje, destacando la necesidad de integración SIG y de un tratamiento riguroso de la incertidumbre en el modelado de la HSC para una mejor toma de decisiones por parte de los formuladores de políticas y los inversores.

Por otra parte, Shen et al. (2025) abordaron la planificación integral de la infraestructura de H_2 en el marco de la transición energética global y la descarbonización. En este estudio se desarrollaron modelos tanto para el diseño de la HSC como para la localización de estaciones de repostaje, con el objetivo de optimizar la toma de decisiones en la región Delta del río Yangtze. Mediante el método U-constraint, se buscó minimizar el número de estaciones necesarias sin perder la precisión del análisis del flujo de tráfico. Los resultados sugieren la necesidad de establecer 94 plantas de

gasificación y 150 estaciones de repostaje para satisfacer eficazmente la demanda de H_2, destacando además el papel estratégico de los ferrocarriles para el transporte de grandes volúmenes a larga distancia. Sin embargo, el estudio resalta la importancia de desarrollar modelos más integrales que consideren las características y requerimientos de múltiples usuarios finales.

3. Metodología

Para la presente revisión sistemática de la literatura se aplicaron los tres pasos propuestos por Kong et al. (2025) acorde con la implementación de la metodología PRISMA para el metaanálisis de la información, ampliamente utilizada para garantizar la transparencia y exhaustividad en revisiones sistemáticas de la literatura. Este proceso involucró como paso 1: la identificación de la búsqueda inicial en las bases de datos y la eliminación de artículos duplicados; Paso 2: evaluación de títulos y resúmenes que estuvieron asociados a la GHSC en los artículos científicos; Paso 3: la revisión de documentos a completitud y la selección final de artículos para su posterior análisis.

Paso 1. Fuentes y recolección de datos

La iniciativa de la búsqueda se realizó en las bases de datos Scopus y Web of Science, abarcando un rango temporal significativo de publicaciones desde el año 2005 hasta el 2025, utilizando la siguiente estrategia de búsqueda, que incorporó los operadores booleanos para mejorar la precisión y la eficacia de los resultados. Adicionalmente fue necesario formular tres preguntas de investigación para posteriormente construir la cadena de búsqueda:

1. ¿Cuáles son las metodologías utilizadas en la literatura reciente para la toma de decisiones en la GHSC?
2. ¿Cuáles son los factores de riesgo que están siendo considerados actualmente en la GHSC?
3. ¿Cuáles son las principales lagunas y oportunidades identificadas en la literatura que podrían orientar futuras investigaciones?

En la tabla 1, se presentan los criterios de búsqueda asociados a los términos clave acorde con la ecuación de búsqueda, también se puede visualizar el número de artículos encontrados en las diferentes bases de datos de Scopus y Web Of Science.

Tabla 1
Ecuación de búsqueda.

Fuente de datos	Cadena de búsqueda	No. Artículos
Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("supply chain") AND TITLE-ABS-KEY ("green hydrogen" OR hydrogen) AND TITLE-ABS-KEY ("decision making")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar"))	69
Web of Science	"supply chain" (All Fields) and "green hydrogen" OR hydrogen (All Fields) and "decision making" (All Fields) and Article (Document Types) and English (Languages)	72

Paso 2. Evaluación de títulos y resúmenes

En el proceso de selección se consideraron aquellos documentos que analizaban en detalle los eslabones que conforman la GHSC, desde la selección de fuentes renovables para la producción de H_2, hasta los puntos de consumo. También se tuvo en cuenta la evaluación tecno-económica, ambiental y social para la optimización de los recursos mediante programación lineal entera mixta MILP, propuestas por Plazas-Niño et al. (2022); y De-León Almaraz & Azzaro-Pantel (2017b).

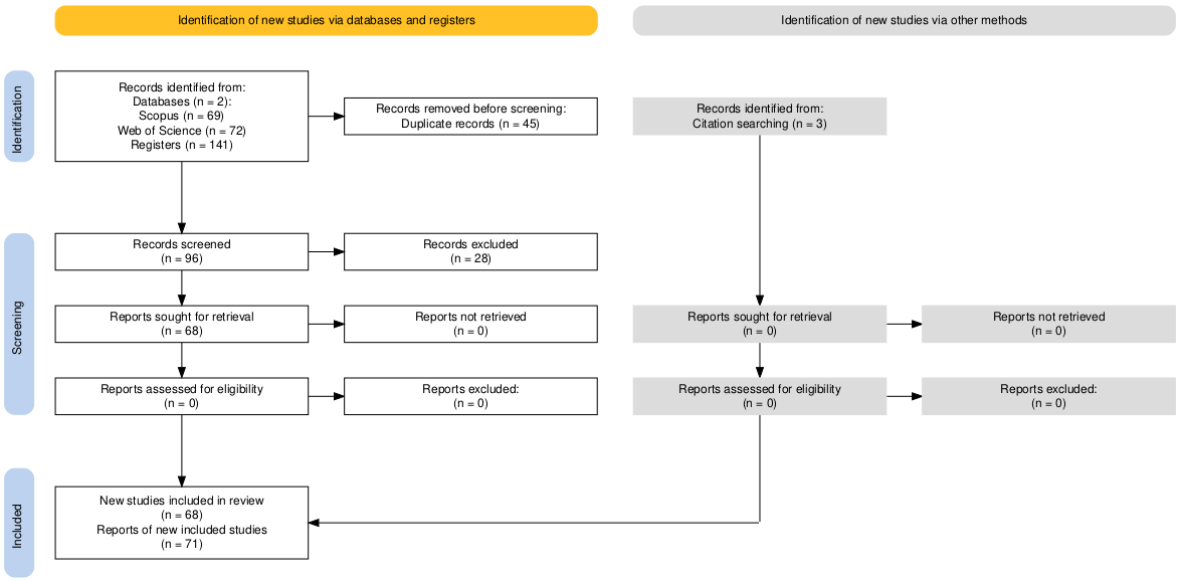
Paso 3. Revisión y selección final de artículos

En esta fase final de la metodología PRISMA (Figura 1), los artículos preseleccionados se evaluaron meticulosamente para determinar su relevancia en relación con la toma de decisiones en la HSC. Los documentos se sometieron a un análisis exhaustivo para comprobar la coherencia de sus marcos teóricos, así como la claridad de los modelos de optimización, el análisis multicriterio y la evaluación de riesgos, que son esenciales para el GHSC.

Se emplearon criterios de inclusión específicos, centrándose en la relevancia temática y el rigor metodológico, al tiempo que se identificaron las brechas y oportunidades destacadas en la literatura contemporánea.

La revisión facilitó la exclusión de los estudios que carecían de información o relevancia para el MSL, garantizando así la validez analítica. Además, se llevó a cabo un análisis comparativo de los enfoques metodológicos, integrando los conocimientos bibliométricos del paquete Bibliometrix de RStudio, que validó las tendencias identificadas y ayudó en la clasificación de los artículos.

Figura 1.
Metodología PRISMA



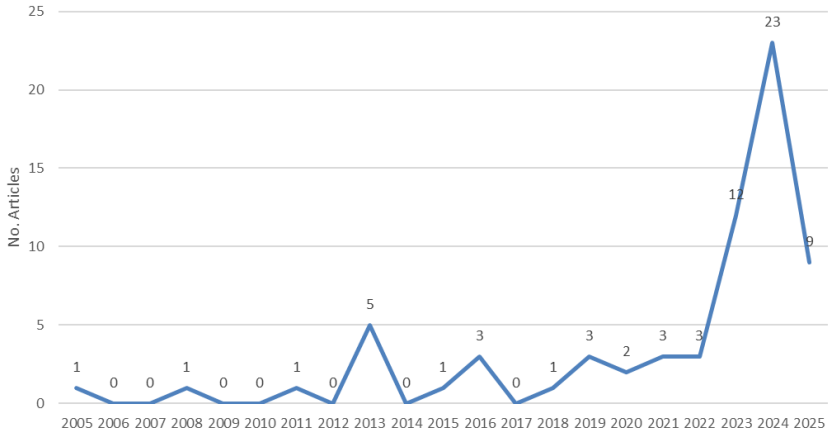
Fuente: Kong et al. (2025).

4. Resultados

La búsqueda realizada en las bases de datos Scopus y Web of Science arrojó un total de 141 artículos (69 de Scopus y 72 de Web of Science), Se procedió a eliminar aquellos que eran duplicados (45), donde se analizaron en total 71 artículos en R Studio, incluidos títulos de investigación y resúmenes, con base en la producción anual científica sobre HSC que se visualiza en la Figura 2, ello evidencia que en los últimos años ha habido un incremento en esta temática de investigación por parte de la comunidad científica, en 2024 fue el año de mayor contribución.

La revisión de la literatura incluyó estudios destacados que aportan diversos enfoques al análisis de la GHSC. Por ejemplo, Cantú et al. (2023) proponen modelos optimizados para redes de suministro incorporando detalles espaciales y tecnológicos; Raj Singh et al. (2024) introducen enfoques basados en la teoría prospectiva difusa para la selección de proveedores críticos; y Ochoa Bique et al. (2019) presentan aportes significativos en el análisis de costos, seguridad y emisiones de CO_2.

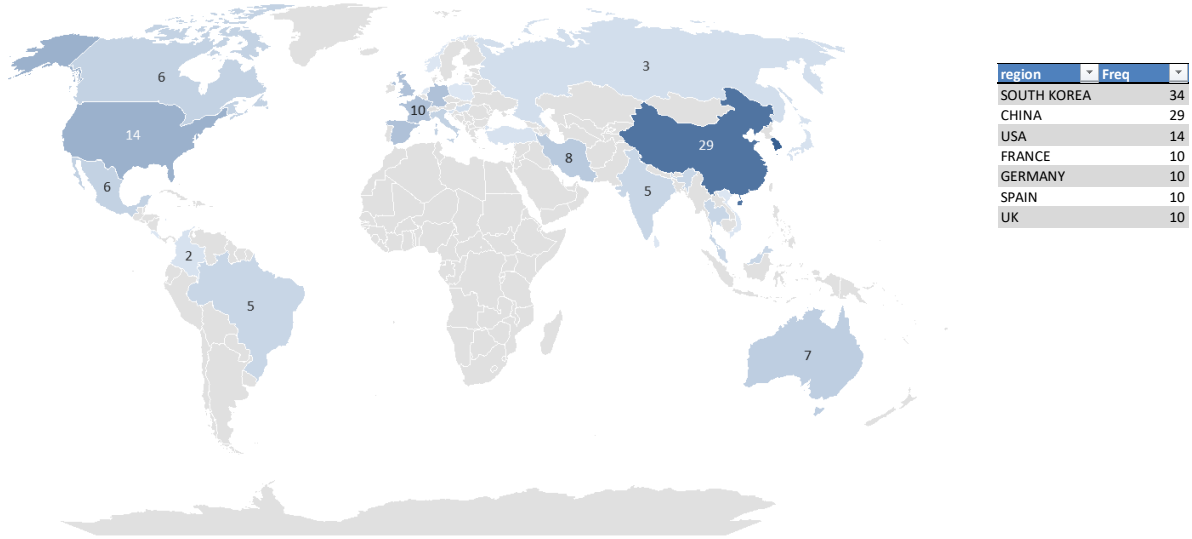
Figura 2.
Producción anual científica en relación con la GHSC



Fuente: Bibliometrix – R Studio (2025).

En relación con la identificación de modelos de optimización para la GHSC se infiere que son significativos y relevantes dado que se han integrado aspectos de tipo económico, técnico y ambiental. En la Figura 3 se observa el top de los cinco países con la mayor la contribución, donde sobresalen Corea del Sur, China, Estados Unidos, Francia, Alemania, España y Reino Unido.

Figura 3.
Producción científica sobre GHSC por país.

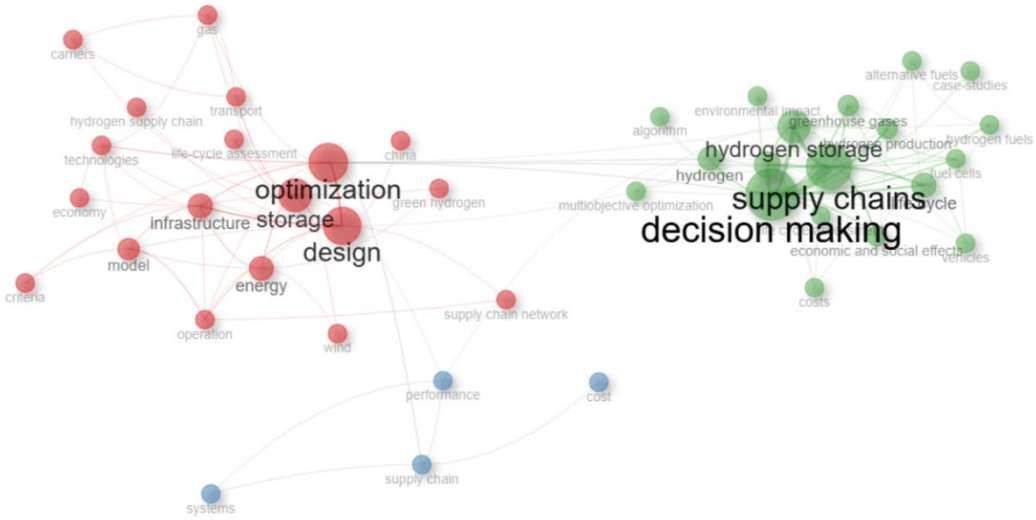


region	Freq
SOUTH KOREA	34
CHINA	29
USA	14
FRANCE	10
GERMANY	10
SPAIN	10
UK	10

Fuente: Bibliometrix – R Studio (2025).

En ese sentido, acorde con la Figura 4 de diagrama de co-ocurrencia de palabras clave sobre GHSC, en investigaciones realizadas entre otros por Janmontree et al. (2025) se aborda el análisis multicriterio - MCDA para evaluar ubicaciones óptimas para instalaciones de energía solar fotovoltaica, donde priman los criterios de tipo climático y geográfico.

Figura 4.
Diagrama de co-ocurrencia de palabras clave sobre GHSC



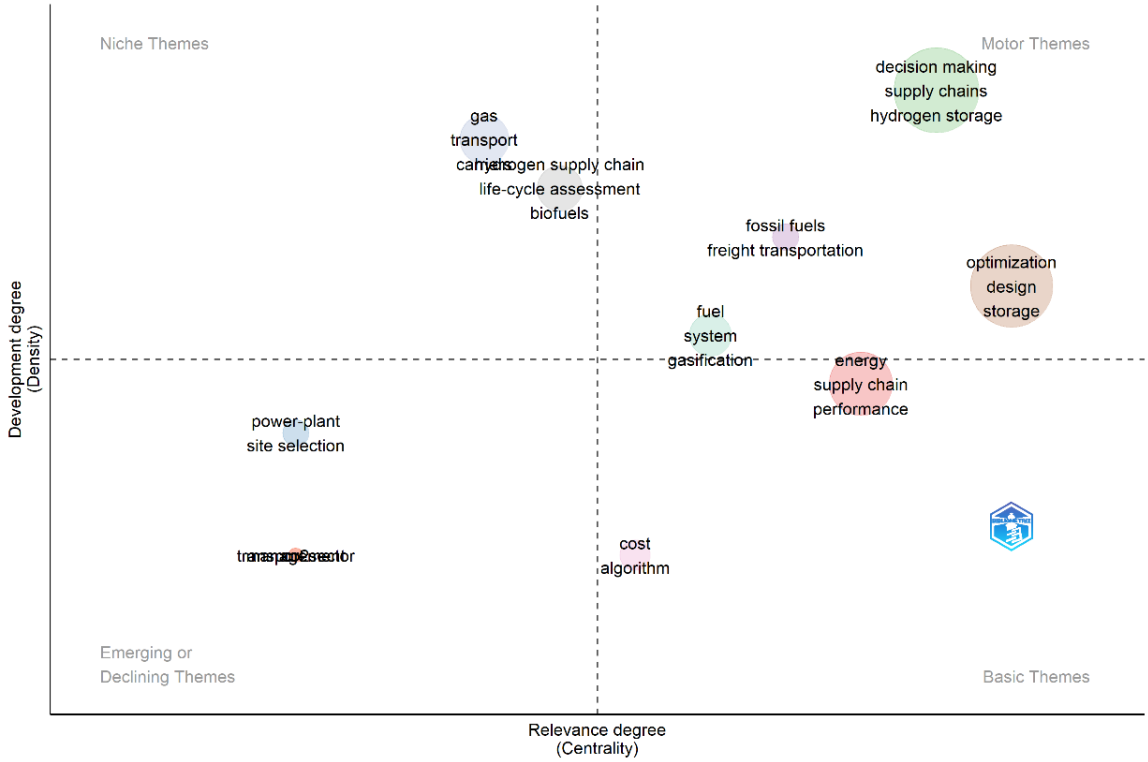
Fuente: Bibliometrix – R Studio (2025).

La revisión sistemática deduce la importancia de la evaluación de riesgos en la GHSC se al identificar factores críticos y su posterior mitigación, estos estudios integraron análisis de sensibilidad y métodos de ponderación frente al impacto ambiental, por ejemplo, el Entropy Weight

Method (EWM), todos estos términos afectan la toma de decisiones y se presentaron en la Figura 4.

Ahora bien, en la Figura 5 se presenta el diagrama de densidad de palabras clave sobre GHSC, y en efecto, en relación con los aspectos sociales, se observaron patrones emergentes en la integración de aspectos sociales para la toma de decisiones, para ello se incluye también dentro de estos términos, el concepto de sostenibilidad a partir de diseño óptimos y resiliencia operacional respecto al transporte, sin dejar a un lado el costo de los algoritmos a implementar en la GHSC.

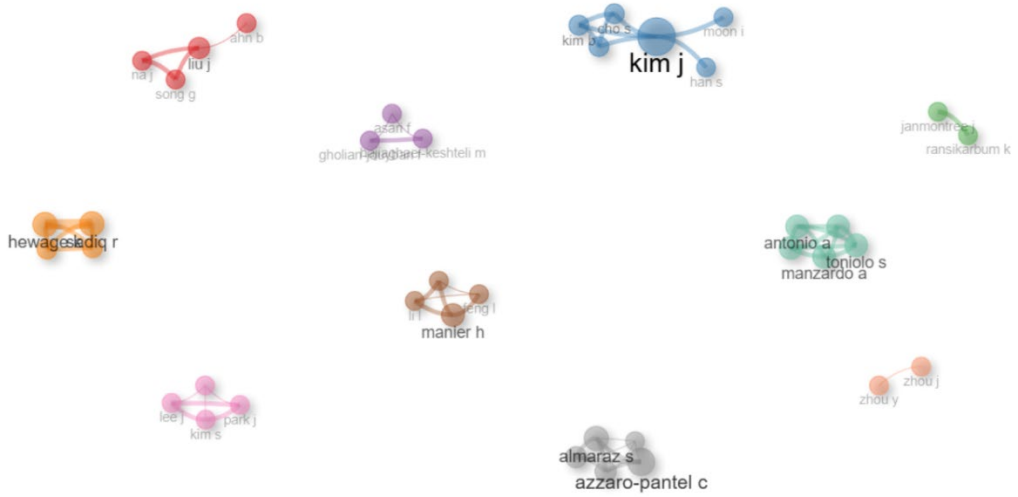
Figura 5.
Diagrama de densidad de palabras clave sobre GHSC



Fuente: Bibliometrix – R Studio (2025).

De acuerdo con lo anterior, sobre las palabras clave que se detectaron en los artículos encontrados, en la Figura 6 se presenta el diagrama de densidad de los autores de artículos científicos sobre GHSC, entre estos autores sobresale Kim, Azzaro Pantel, Manier, Liu entre otros. Además, de la revisión efectuada se consideraron investigaciones recientes que utilizan análisis multicriterio espacial para la ubicación de plantas solares (Janmontree et al., 2025) y modelos de evaluación económica y ambiental, como los desarrollados por Ahn et al. (2024). También se integran algunos estudios en modelos matemáticos de programación lineal entera mixta y modelos multiobjetivo, para la planificación de la cadena (Camelo et al., 2025; De-León Almaraz et al., 2022; Kim et al., 2021).

Figura 6.
Diagrama de densidad de autores de artículos científicos sobre GHSC



Fuente: Bibliometrix – R Studio (2025).

Para finalizar, estos autores han abordado la mejora de la eficiencia del almacenamiento de H_2 y el impacto de la demanda del mercado dado que son oportunidades de investigación, de acuerdo con la Figura 4, 5 y 6 se puede inferir también que hay un campo fértil por investigar en función de la necesidad de modelos matemáticos integrales que consideren múltiples objetivos y al usuario final dentro de la GHSC.

5. Conclusiones

El mapeo sistemático de la literatura sobre la toma de decisiones en la GHSC, evidenció una importancia creciente para integrar los enfoques del triple bottom line es decir económico, social y ambiental, sumado a los criterios técnicos, las tendencias emergentes identificadas en el desarrollo de modelos de optimización y de análisis multicriterio, permitió detectar lagunas de investigación en este campo, por tanto, es un objetivo poder continuar con este tipo de investigaciones en el futuro. Aunque existen investigaciones enfocadas en la evaluación de la eficiencia y los costos asociados a la producción y distribución dentro de la GHSC, son escasos los estudios que integran los desafíos asociados a la resiliencia operacional y el impacto social.

Las metodologías de optimización multiobjetivo, análisis multicriterio y programación lineal entera mixta MILP son herramientas fundamentales para la toma de decisiones robusta en contextos de alta incertidumbre y en condiciones de variabilidad del mercado energético por condiciones intrínsecas o extrínsecas. El mapeo sistemático contribuyó a la consolidación del conocimiento sobre la GHSC, al proporcionar una visión holística de los enfoques decisorios actuales y al abrir nuevas perspectivas para futuras investigaciones. Por ejemplo, la integración de sistemas de información geográfica SIG para localización de instalaciones. Este esfuerzo es un aporte para la transición energética sostenible y el impulso a la formulación de política pública que desarrolle la GHSC a nivel global.

6. Referencias

- Ahn, B., Sohn, H., Liu, J. J., & Won, W. (2024). A System-Level Analysis for Long-Distance Hydrogen Transport Using Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHCs): A Case Study in Australia-Korea. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, *12*(23), 8630–8641. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c00330
- Camelo, M. M., de Andrade, C. F., & Prata, B. de A. (2025). A mixed-integer linear programming model for optimizing green hydrogen supply chain networks. *International Journal of Hydrogen Energy*, *118*, 134–145. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.02.138
- Cantú, V. H., Ponsich, A., Azzaro-Pantel, C., & Carrera, E. (2023). Capturing spatial, time-wise, and technological detail in hydrogen supply chains: A bi-level multi-objective optimization approach. *Applied Energy*, *344*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121159
- De-León Almaraz, S., & Azzaro-Pantel, C. (2017a). Chapter 4 - Design and Optimization of Hydrogen Supply Chains for a Sustainable Future. In A. Scipioni, A. Manzardo, & J. Ren (Eds.), *Hydrogen Economy* (pp. 85–120). Academic Press. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811132-1.00004-3
- De-León Almaraz, S., & Azzaro-Pantel, C. (2017b). Preface Hydrogen Supply Chains: Design, Deployment, and Operation. In *Hydrogen Economy* (pp. 85–120). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811132-1.00004-3
- De-León Almaraz, S., Azzaro-Pantel, C., Montastruc, L., & Boix, M. (2015). Deployment of a hydrogen supply chain by multi-objective/multi-period optimisation at regional and national scales. *Chemical Engineering Research and Design*, *104*, 11–31. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.07.005
- De-León Almaraz, S., Rácz, V., Azzaro-Pantel, C., & Szántó, Z. O. (2022). Multiobjective and social cost-benefit optimisation for a sustainable hydrogen supply chain: Application to Hungary. *Applied Energy*, *325*. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119882
- Janmontree, J., Zadek, H., & Ransikarbum, K. (2025). Analyzing solar location for green hydrogen using multi-criteria decision analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *209*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115102
- Kim, A., Kim, H., Lee, H., Lee, B., & Lim, H. (2021). Comparative Economic Optimization for an Overseas Hydrogen Supply Chain Using Mixed-Integer Linear Programming. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, *9*(42), 14249–14262. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c05446
- Kong, L., Koh, S. C. L., Sena, V., Robinson, D., & Wood, M. (2025). Towards a resilience evaluation framework for hydrogen supply chains: A systematic literature review and future research agenda. In *International Journal of Hydrogen Energy* (Vol. 99, pp. 589–606). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.12.164
- Ochoa Bique, A., Maia, L. K. K., La Mantia, F., Manca, D., & Zondervan, E. (2019). Balancing costs, safety and CO2 emissions in the design of hydrogen supply chains. *Computers & Chemical Engineering*, *129*, 106493. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2019.06.018
- Ozawa, A., Kudoh, Y., Kitagawa, N., & Muramatsu, R. (2019). Life cycle CO2 emissions from power generation using hydrogen energy carriers. *International Journal of Hydrogen Energy*, *44*(21). https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.02.230
- Plazas-Niño, F. A., Ortiz-Pimiento, N. R., & Montes-Páez, E. G. (2022). National energy system optimization modelling for decarbonization pathways analysis: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *162*, 112406. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112406

- Rahardjo, B., Suliyanto, & Daryono. (2025). Uncovering the Complexity of Supply Chain in MSMEs: A Systematic Review. *Journal of Ecohumanism*, *4*(1), 3551–3562. https://doi.org/10.62754/joe.v4i1.6202
- Raj Singh, R., Zindani, D., & Ranjan Maity, S. (2024). A novel fuzzy-prospect theory approach for hydrogen fuel cell component supplier selection for automotive industry. *Expert Systems with Applications*, *246*. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.123142
- Shen, W., Li, H., Ding, H., Zeng, M., Xie, C., & Zhang, X. (2025). Integrated Planning Model for Optimizing Investments in Hydrogen Infrastructure Deployment: A Case Study of Yangtze River Delta Region, China. *Energy Science and Engineering*. https://doi.org/10.1002/ese3.2069

Sobre los autores

- **César Vargas**: Ingeniero Industrial, Especialista en Dirección de la Producción y Operaciones, Máster en Ingeniería Industrial, Estudiante de Doctorado en Ingeniería de la Universidad de Caldas. Profesor catedrático. cvargasy@umanizales.edu.co
- **Alexandra Duarte**: Ingeniera Química, Doctora en Ingeniería – Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Profesora titular de planta de la Universidad de Caldas. alexandra.duarte@ucaldas.edu.co
- **Óscar Franco**: Ingeniero de sistemas. Globant Universitat Politècnica de Catalunya. Doctor en Filosofía computacional. Profesor titular de planta de la Universidad de Caldas. oscar.franco@ucaldas.edu.co

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2025 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)