

Analizar los Proyectos y Tecnologías de Hidrogeno Utilizando Bases de Datos y Herramientas  
TIC

Jhonatan Julio Rubio Pita

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero de Petróleos

Director

German González Silva

Ingeniero Químico PhD

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico - Químicas

Escuela de Ingeniería de Petróleos

Bucaramanga

2025

### **Agradecimientos**

Primeramente, quiero agradecer a Dios por permitirme culminar con éxito, a mis padres que estuvieron incondicionalmente conmigo mis hermanos siempre por estar cuando los necesite, a mi novia por su condicional apoyo.

También quiero agradecer a director por su dedicación y paciencia para guiarme durante la realización de este trabajo de grado. A mis amigos por su apoyo moral y por ser mi fuente de motivación en los momentos más difíciles.

Agradezco a quienes contribuyeron con el desarrollo y exposición este trabajo, ya sea con sus conocimientos, consejos o tiempo dedicado a revisarlo.

Finalmente, quiero agradecer a mí mismo por mi esfuerzo, dedicación y perseverancia para llevar a cabo este proyecto y obtener con éxito mi título universitario. ¡Gracias a todos por formar parte de este importante logro en mi vida!

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
Resumen.....	11
Introducción .....	13
2. Objetivos.....	14
2.1 Objetivo General.....	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. Justificación .....	15
4. Marco Teórico.....	16
4.1 Teorías de grupos y grafos.....	16
4.1.1 Teoría de grupos .....	17
4.1.2 Teoría de grafos .....	18
4.2 Leyes bibliométricas .....	19
4.2.1 Ley del crecimiento exponencial de la información científica .....	20
4.2.2 Ley de principio de obsolescencia en la literatura científica .....	22
4.2.3 Ley de distribución de investigación literaria.....	22
4.3 Indicadores bibliométricos.....	23
4.3.1 Caracterización de los indicadores bibliométricos .....	25
4.3.1.1 Indicadores personales.....	26
4.3.1.2 Indicadores de desempeño.....	26
4.3.1.2.1 Indicé de desempeño personal.....	26
4.3.1.2.2 Indicé de transitoriedad.....	27
4.3.1.2.3 Indicé de colaboración.....	27

4.3.1.2.4	Indicé de varias autorías.....	28
4.3.1.2.5	Indicé de institucionalidad.....	29
4.3.1.3	Indicadores de citación.....	29
4.3.1.3.1	Indicé de obsolescencia.....	29
4.3.1.3.2	Indicé de impacto de los artículos.....	31
4.3.1.3.3	Factor de inmediatez.....	32
4.3.1.3.4	Indicador de temática de actualidad.....	33
4.3.1.3.5	Indicador de aislamiento.....	33
4.3.1.3.6	Factor de auto citación.....	34
4.3.1.3.7	Factor de citación general.....	34
4.3.1.4	Factor de contenido temático.....	34
4.3.1.5	Factores metodológicos.....	35
4.3.2	Limitaciones de los indicadores bibliométricos.....	35
4.3.2.1	Limitaciones de las citas.....	35
4.3.2.1.1	Problemas conceptuales.....	35
4.3.2.1.2	Problemas técnicos.....	36
4.3.2.1.3	Variaciones entre documentales.....	36
4.3.2.1.4	Variaciones entre áreas.....	36
4.3.2.2	Limitaciones del índice de impacto.....	37
4.3.2.2.1	Diferencias entre especialidades.....	37
4.3.2.2.2	Tamaño del área.....	38
4.3.2.2.3	Obsolescencia bibliográfica.....	38
4.3.2.2.4	Dispersión no uniforme de citas.....	38

4.3.2.3 Limitación de factores de actividad investigativa.....	39
4.3.2.3.1 Carácter cuantitativo.....	39
4.3.2.3.2 Diferencias entre áreas.....	39
4.3.3 Otros indicadores bibliométricos.....	40
4.3.3.1 Cantidad de artículos.....	40
4.3.3.2 Factor por año en puntos.....	41
4.3.3.3 Costo del factor por año.....	41
4.3.4 Clusters y nodos.....	42
4.2.4.1 Creación de nodos.....	42
4.2.4.2 Creación de clusters.....	42
5. Metodología.....	43
5.1 Análisis de la publicación científica Web of Science.....	43
5.1.1 Buscar la sección de Biblioteca o Recursos Electrónicos.....	43
5.1.2 Realización de búsquedas.....	44
5.1.2.1 Filtros de búsqueda.....	45
5.1.3 Análisis de resultados.....	49
5.1.4 Análisis de un documento de web of science.....	55
5.1.4.1 Current status of green hydrogen production technology.....	55
5.1.4.2 La Importancia del Hidrógeno Verde.....	56
5.1.4.3 Panorama Global y Políticas Públicas.....	56
5.1.4.4 Tecnologías de Producción de Hidrógeno Verde.....	57
5.1.4.5 Ventajas y Retos de la Producción de Hidrógeno Verde.....	58
5.1.4. 5 Perspectivas y Aplicaciones Futuras Desarrollo tecnológico.....	58

5.2 Análisis de la publicación científica Scopus.....	59
5.2.1 Material de análisis y Origen.....	59
5.2.2 Manual de uso de Scopus.....	60
5.2.3 Realizar la búsqueda.....	61
5.2.3.1 Definición de palabras clave.....	62
5.2.2.3 Aplicación de filtros.....	63
5.2.2.4 Ejecución de la búsqueda.....	67
5.2.4 Análisis de Resultados.....	68
5.2.5 Análisis de artículo de scopus.....	79
5.2.5.1 Problemática actual en el artículo.....	79
5.2.5.2 Avances tecnológicos destacados.....	80
5.2.5.3 Retos técnicos y ambientales.....	80
5.2.5.4 Perspectivas futuras del artículo.....	81
6. Resultados.....	81
6.1 Producción científica y tendencias temporales.....	81
6.1.1 Proyectos destacados 2025 a nivel mundial.....	84
6.1.2 Proyectos piloto en Colombia.....	90
6.1.2.1 Ecopetrol - Hidrógeno Verde en Cartagena.....	95
6.1.2.2 Proyecto de Hidrógeno Azul en Barrancabermeja.....	96
6.1.2.3 Grupo Energía Bogotá (GEB) y Promigas.....	97
6.1.2.4 Interconexión Eléctrica S.A. (ISA):.....	99
6.2 Conexión de las investigaciones entre países.....	100
6.3 Autores relevantes.....	104

7. Conclusiones .....	110
8. Recomendaciones .....	112
Referencias Bibliográficas .....	114

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Relación tipo de citas de documentos e índice de impacto (II) de las revistas.....	38
Tabla 2 La tecnología en relación con el principio, ventajas y sus limitaciones .....	56
Tabla 3 Criterios de selección y descarte.....	59
Tabla 4 Comparación entre las tecnologías de fotocatalisis y electrocatalisis .....	79
Tabla 5 Procesos de producción de hidrogeno (Rodrigo Vásquez 2021).....	82
Tabla 6 Publicación en la revista internacional de energía del hidrogeno, de economía y política energética en 2025 .....	86
Tabla 7 Publicaciones revista de China, Ingeniería química, Ambiental, de energía de residuos peligrosos, tóxicos y radiactivos en 2025 .....	88
Tabla 8 Ciencia de materiales para tecnologías energéticas, cambio climático, energía limpia, ciencias sociales y combustibles en 2025 .....	89
Tabla 9 Proyectos actuales en Colombia en estado en concepto .....	92
Tabla 10 Proyectos en Colombia en estado de estudio de factibilidad.....	93
Tabla 11 Proyectos en Colombia en FID/estado de construcción .....	94
Tabla 12 Proyectos en Colombia en estado operativo .....	95
Tabla 13 Relación de bases de datos con autores, países y palabras clave.....	105

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Caracterización de los indicadores bibliométricos</i> .....	25
Figura 2 Acceso a recursos bibliográficos y bases de datos de la Universidad Industrial de Santander Web of Science .....	43
Figura 3 Interfaz de búsqueda en Web of Science.....	45
Figura 4 Filtrado por Quick filteres o filtros rápidos.....	45
Figura 5 Filtro por años.....	46
Figura 6 Filtro por tipo de documento .....	47
Figura 7 Filtro por perfiles de investigación.....	48
Figura 8 Acceso a la herramienta de análisis de resultados en Web of Science.....	49
Figura 9 Análisis de resultado por tipo de documento de la Web of Science .....	50
Figura 10 Análisis de resultado por publicaciones por año de la Web of Science .....	51
Figura 11 Análisis de resultado por perfil del investigador de la Web of Science.....	52
Figura 12 Análisis de resultados por autores de la Web of Science .....	53
Figura 13 Análisis de resultados por categorías de la Web of Science .....	54
Figura 14 Acceso a recursos bibliográficos y bases de datos de la Universidad Industrial de Santander Scopus .....	60
Figura 15 Interfaz de búsqueda avanzada en Scopus.....	61
Figura 16 Búsqueda académica en Scopus .....	62
Figura 17 Filtrado por años en la búsqueda realizada en Scopus .....	63
Figura 18 Filtrado por áreas en la búsqueda realizada en Scopus .....	64
Figura 19 Filtrado por tipo de documento en la búsqueda realizada en Scopus.....	65

Figura 20 Filtrado por otros tipos de filtros en la búsqueda realizada en Scopus ..... 65

Figura 21 Filtrado por países en la búsqueda realizada en Scopus..... 66

Figura 22 Realización de la búsqueda académica con la opción search..... 67

Figura 23 Herramienta de Análisis de Publicaciones en Scopus ..... 68

Figura 24 El análisis de documentos por año ..... 70

Figura 25 Análisis de documentos por año y fuente en Scopus ..... 71

Figura 26 Análisis de documentos por país en Scopus..... 73

Figura 27 Análisis de documentos por autor en Scopus ..... 74

Figura 28 Análisis de documentos por autor en Scopus ..... 75

Figura 29 Análisis por áreas temáticas de publicaciones en Scopus ..... 76

Figura 30 Análisis de documentos según entidad financiera en Scopus ..... 78

Figura 31 Numero de artículos de Scopus ..... 83

Figura 32 Clasificación por áreas tomado de Web of Science ..... 84

Figura 33 Mapa de conexión Vosviwer de artículos por palabra clave ..... 85

Figura 34 Proyectos de hidrogeno en Colombia 2022..... 90

Figura 35 Producción de hidrogeno y su perspectiva en Colombia..... 92

Figura 36 Mapa de distribución de artículos por país..... 100

Figura 37 Mapa de conexión Vosviwer de artículos por país..... 102

Figura 38 Evolución de la conectividad entre artículos por país a lo largo del tiempo ..... 102

Figura 39 Distribución de temas en la red bibliométrica mapa de densidad Vosviewer ..... 103

Figura 40 Mapa de conexión Connected Papers de artículos por autores ..... 106

Figura 41 Trabajos anteriores ..... 107

Figura 42 Red de interacciones entre autores ..... 108

## Resumen

**Título:** Analizar los Proyectos y Tecnologías de Hidrogeno Utilizando Bases de Datos y Herramientas TIC\*

**Autor:** Jhonatan Julio Rubio Pita\*\*

**Palabras Clave:** Tecnologías de hidrogeno, Energías renovables, Transición energética, Hidrogeno y Energías renovables

**Descripción:** El cambio climático se refiere al aumento de la temperatura promedio de la Tierra debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) causadas normalmente por actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles y la deforestación. Este fenómeno tiene consecuencias desastrosas para el planeta, como el aumento del nivel del mar, la pérdida de biodiversidad y eventos climáticos extremos. En el marco de la energía mundial, se busca obtener recursos de diferentes maneras, una de las tecnologías que se están desarrollando para combatir el cambio climático son las tecnologías de hidrógeno. Se han impulsado como una de las energías que pueden aportar a esta transición, siendo esta energía abundante en el planeta y pudiendo obtenerse de diversas formas, lo que ofrece versatilidad en su obtención.

El hidrógeno es un combustible limpio que, al reaccionar con el oxígeno en una celda de combustible, produce electricidad, agua y calor como subproductos. Esto significa que no emite gases de efecto invernadero, por lo que no contribuye negativamente al cambio climático. El uso de tecnologías de hidrógeno tiene múltiples beneficios para mitigar el cambio climático.

En primer lugar, proporciona una alternativa limpia a los combustibles fósiles en sectores como el transporte y la generación de energía. Los vehículos de hidrógeno, por ejemplo, emiten solo vapor de agua como producto de escape, reduciendo significativamente las emisiones de GEI.

Además, la tecnología del hidrógeno puede ayudar a integrar fuentes de energía renovable intermitentes, como la solar y la eólica, en la red eléctrica. El hidrógeno se puede producir utilizando energía renovable, almacenarse a largo plazo y luego convertirse nuevamente en electricidad cuando sea necesario, proporcionando una solución para el problema de la variabilidad de las energías renovables.

Otro aspecto importante es el uso del hidrógeno como un vector para transportar y almacenar energía. El hidrógeno se puede producir a partir del agua mediante procesos de electrólisis alimentados por energía renovable y luego utilizarse como un combustible limpio en lugar de los combustibles fósiles. Además, el hidrógeno se puede utilizar en diversas aplicaciones energéticas, como la calefacción de edificios y la generación de energía eléctrica en áreas remotas.

---

\* Analizar los Proyectos y Tecnologías de Hidrogeno Utilizando Bases de Datos y Herramientas TIC

\*\* Facultad de Físico - Química. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: German González Silva. Ingeniero Químico PhD

### Abstract

**Title:** Bibliometric analysis hydrogen projects and technologies using databases and TIC tools \*

**Author:** Julio Rubio Pita \*\*

**Key Words:** Hydrogen technologies, Renewable energies, Energy transition, Hydrogen and renewable energies.

**Description:** Climate change refers to the increase in the Earth's average temperature due to greenhouse gas (GHG) emissions caused primarily by human activities, such as the burning of fossil fuels and deforestation. This phenomenon has disastrous consequences for the planet, such as rising sea levels, loss of biodiversity and extreme weather events.

Within the framework of global energy, resources are sought to be obtained in different ways; one of the technologies that are being developed to combat climate change is hydrogen technologies. They have been promoted as one of the energies that can contribute to this transition, this energy being abundant on the planet and can be obtained in various ways, which offers versatility in obtaining it.

Hydrogen is a clean fuel that, when reacts with oxygen in a fuel cell, produces electricity, water and heat as byproducts. This means that it does not emit greenhouse gases, so it does not contribute negatively to climate change.

The use of hydrogen technologies has multiple benefits to mitigate climate change. Firstly, it provides a clean alternative to fossil fuels in sectors such as transport and power generation. Hydrogen vehicles, for example, emit only water vapor as an exhaust product, significantly reducing GHG emissions. Additionally, hydrogen technology can help integrate intermittent renewable energy sources, such as solar and wind, into the power grid. Hydrogen can be produced using renewable energy, stored long-term and then converted back to electricity when needed, providing a solution to the problem of renewable energy variability. Another important aspect is the use of hydrogen as a vector to transport and store energy. Hydrogen can be produced from water using electrolysis processes powered by renewable energy and then used as a clean fuel in place of fossil fuels. Additionally, hydrogen can be used in various energy applications, such as heating buildings and generating electrical power in remote areas.

---

\* Bibliometric analysis hydrogen projects and technologies using databases and TIC tools

\*\* Faculty of Physics and Chemistry. School of Petroleum Engineering. Director: German González Silva. PhD in Chemical Engineering.

## Introducción

El avance económico, social y cultural de un país se encuentra estrechamente ligado al progreso de la investigación y la innovación técnica; además, un panorama mundial cada vez más globalizado y competitivo ha hecho que la ciencia y la tecnología se encuentren en constante actualización sobre temas que presentan un gradual impacto por escritores e investigadores. (Vargas, 2004).

Por esto, las academias colombianas cada vez es más necesario contar con herramientas de análisis que faciliten la evaluación de calidad en ámbitos de ciencia, tecnología e investigación (Ospina, 2009); de acuerdo con esto, los estudios bibliométricos y el manejo de herramientas tic en bases de datos se consideran fundamentales para impulsar el desarrollo estrategias encaminadas a mejorar la investigación en Colombia.

El análisis bibliométrico constituye una herramienta esencial y altamente útil utilizada en la investigación científica para evaluar la productividad y la utilización de información contenida en Publicaciones académicas. Este método implica la recopilación y análisis de referencias bibliográficas utilizadas en la literatura científica, lo que proporciona datos cuantitativos sobre diferentes aspectos de la investigación en tecnologías de hidrógeno.

Mediante el análisis bibliométrico, es posible identificar tendencias en la investigación, determinar la influencia de las publicaciones o autores en un campo específico, así como evaluar la relevancia e influencia de investigación y documentación científica especializada en tecnologías de hidrógeno. Además, este enfoque permite identificar áreas de oportunidad para futuras investigaciones, así como analizar la colaboración entre diferentes investigadores o academias relacionadas con las tecnologías de hidrógeno.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Analizar los proyectos de tecnologías de hidrogeno utilizando bases de datos y herramientas tic.

### **2.2 Objetivos Especificos**

Determinar las principales bases de datos en proyectos de tecnologías de energía renovable de hidrogeno.

Seleccionar el tipo de bases de datos a partir de información reportada en la literatura de tecnologías de hidrogeno.

Analizar la información para establecer recomendaciones que permitan mejorarla en caso de que sea posible.

### 3. Justificación

La transición energética es uno de los asuntos más significativos a nivel global en la actualidad. La crisis climática y su impacto ambiental son preocupaciones de las grandes potencias, que están apostando cada vez más por las energías limpias. Estas fuentes de energía están en pleno auge y cuentan con un mercado bastante amplio.

Las tecnologías de hidrógeno están emergiendo como una respuesta prometedora para afrontar los desafíos afines con la energía y el medio ambiente. El crecimiento en la demanda mundial de hidrógeno ha sido significativo en las últimas décadas debido a una diversidad de factores, conteniendo la creciente necesidad de la diversificación de las fuentes energéticas y energías limpias.

El hidrógeno ofrece una serie de beneficios que lo hacen atractivo como parte de las canastas energéticas, ya que puede contribuir a la descarbonización, diversificación y seguridad energética. Sin embargo, es importante tener en cuenta los retos asociados con la elaboración, almacenamiento y distribución de hidrógeno a gran escala, así como la necesidad de seguir avanzando en tecnologías y políticas que impulsen su adopción a gran escala. La demanda de hidrógeno ha venido creciendo de manera notable en los últimos años, impulsada por un interés creciente en las energías limpias y renovables. El hidrógeno es valorado como una fuente de energía sostenible y limpia, ya que su combustión genera únicamente agua como subproducto.

La demanda de hidrógeno ha crecido en diversas áreas, incluyendo la industria química, la generación de electricidad a partir de fuentes renovables el almacenamiento de energía y el transporte. Asimismo, la Unión Europea y otros países están adoptando políticas y regulaciones para promover el uso del hidrógeno como parte de sus estrategias de descarbonización.

## **4. Marco Teórico**

Para realizar el análisis bibliométrico de proyectos de hidrogeno se compuso de varias etapas clave. Como la recopilación y organización de los datos bibliográficos relevantes, en artículos, citas y publicaciones sobre el tema de interés. Y se procesan estos datos para identificar patrones y tendencias en áreas como la colaboración entre autores, la evolución de la investigación a lo largo del tiempo y los países líderes en el campo. Además, se utilizan herramientas estadísticas y de visualización, como redes de co-citación y análisis de clusters, para representar las relaciones entre los distintos elementos de la investigación. Este enfoque ayudo a obtener una visión clara de los desarrollos y enfoques en un área de estudio específica.

### **4.1 Teorías de grupos y grafos**

Al emplear estas herramientas en un análisis bibliométrico, se pueden obtener valiosa información sobre la evolución del conocimiento en un área específica, así como identificar tendencias emergentes y colaboraciones significativas. Esto permite visualizar de manera intuitiva y comprensible la estructura de la literatura científica.

Además, dentro del ámbito de la investigación científica, estas teorías son fundamentales para examinar y comprender la estructura y las conexiones de la literatura académica. Al utilizar estas herramientas en el análisis bibliométrico, se puede obtener información valiosa sobre el desarrollo del conocimiento en un área particular, así como identificar tendencias emergentes y colaboraciones significativas. Esto permite la visualización intuitiva y la comprensión de la estructura de documentos de investigación.

#### ***4.1.1 Teoría de grupos***

Entender qué es un grupo es esencial para profundizar en la teoría de grupos. La proximidad, la asociatividad, la presencia de un elemento neutro y la existencia de elementos inversos son los cuatro requisitos fundamentales que debe cumplir. El conjunto de los números enteros con la operación de suma es una buena ilustración de un grupo. El cero sirve de elemento neutro en este caso, y cada número entero tiene un inverso que es igual a su negativo. Además, se cumple la condición de cerradura, ya que al sumar dos números enteros siempre se obtiene otro número.

La teoría de grupos tiene aplicaciones en diversas disciplinas, como álgebra abstracta, física teórica, criptografía y geometría [Knapp, 2016]. Por ejemplo, en el ámbito de la física, los grupos de simetría son cruciales para explicar las leyes fundamentales que rigen la naturaleza [Jacobson, 2009]. En el campo de la criptografía, los grupos finitos son empleados para desarrollar algoritmos de encriptación seguros. Un concepto clave en la teoría de grupos es el de subgrupo. Un subgrupo se define como un subconjunto de un grupo que, a su vez, forma un grupo por sí mismo [Milne, 2012]. Los subgrupos ofrecen información significativa sobre la estructura del grupo original y son esenciales para la clasificación y el análisis de grupos. Otro concepto fundamental en la teoría de grupos es el homomorfismo de grupos. Se trata de una función que conecta dos grupos y que mantiene la estructura grupal, lo que significa que transforma la operación del primer grupo en la operación del segundo grupo de manera que respeta las propiedades inherentes a los grupos [Hungerford, 2012].

La clasificación de grupos es un aspecto crucial dentro de la teoría de grupos. Muchos grupos pueden ser organizados según diversas características, como su orden (el número de elementos que contienen), su estructura algebraica o la existencia de subgrupos específicos. La

clasificación de grupos finitos representa un desafío fundamental que ha propiciado significativos avances en el ámbito matemático [Lennox y Robinson, 2004].

Un análisis bibliométrico que utilice la teoría de grupos podría facilitar la identificación de comunidades temáticas dentro de un conjunto de publicaciones científicas. Esta metodología integra la teoría de grafos con técnicas bibliométricas para examinar las redes de referencias entre artículos académicos, autores y áreas de investigación.

Al aplicar esta teoría, se pueden lograr los siguientes objetivos: Identificar comunidades temáticas; Analizar la centralidad del grupo y autores e Investigar cómo ha evolucionado en el tiempo un campo determinado.

#### ***4.1.2 Teoría de grafos***

Es una disciplina matemática que se centra en el estudio de estructuras abstractas denominadas grafos. Un grafo se define como una estructura que consiste en un conjunto de nodos, también conocidos como vértices que están interconectados mediante aristas (también conocidas como bordes). Estas conexiones pueden simbolizar diversas relaciones entre los elementos del conjunto. La teoría de grafos se aplica en diversos campos, que incluyen la biología, la informática, las ciencias sociales y la ingeniería. (Bondy y Murty, 2008).

Los grafos se pueden categorizar en diversas clases según sus características y estructuras. Por ejemplo, se distinguen entre grafos dirigidos y no dirigidos. En un grafo dirigido, las aristas tienen una dirección definida, lo que implica que la relación entre los nodos es unidireccional. En contraste, en un grafo no dirigido, las aristas no poseen dirección, lo que indica que la conexión entre los nodos es bidireccional. Otro tipo relevante es el grafo ponderado, en el cual cada arista está asociada a un peso o valor numérico que refleja alguna medida de distancia, costo u otra métrica similar (West, 2001).

La teoría de grafos también incluye conceptos como la conectividad, la coloración de grafos, los ciclos y los árboles. La conectividad de un grafo se refiere a la capacidad de mantenerse conectado incluso si se eliminan ciertos nodos o aristas. La coloración de grafos se refiere al proceso de asignar colores a los nodos de un grafo de tal forma que no existan nodos adyacentes que compartan el mismo color. Por otro lado, los árboles son un tipo de grafo no dirigido que es conexo y carece de ciclos. Estos tienen aplicaciones en algoritmos de búsqueda y en la organización de datos en estructuras tipo árbol (Wilson et al., 1996).

La aplicación de la teoría de grafos en un análisis bibliométrico se ejecuta mediante la representación de diferencias entre autores, documentos científicos y citas en forma de grafo. Esto permite visualizar y examinar la estructura y la evolución de un campo de indagación en particular, así como identificar tendencias, patrones y relaciones entre diferentes publicaciones y autores. Mediante el uso de la teoría de grafos en un análisis bibliométrico, se puede obtener información valiosa sobre la estructura, la evolución y las relaciones dentro de un campo de investigación específico. Esto facilita una comprensión más profunda de la dinámica y las tendencias en el campo, lo que puede proporcionar ideas importantes para futuras investigaciones y colaboraciones.

#### **4.2 Leyes bibliométricas**

Existen múltiples leyes bibliométricas que llevan el nombre de sus creadores, conocidas como leyes epónimas. A diferencia de las leyes en física o química, estas no tienen el mismo grado de exactitud. En cambio, reflejan distintas variaciones algebraicas o interpretaciones de un fenómeno común desde diversas perspectivas.

Normativas que influyen en la producción literaria científica incluyen la Ley de Bradford, la cual examina cómo se distribuyen los artículos relacionados con un tema específico en diversas revistas académicas. (Campos et al., 2008)

Las disposiciones legales y normativas que influyen en el trabajo de los autores de publicaciones incluyen, entre otras leyes, la de Lotka (Lotka, 1926). Esta sugiere que la proporción de trabajos publicados por autores se ajusta a un patrón predecible bajo determinadas condiciones. Según esta ley, a partir de un grupo inicial de autores que han realizado un análisis que se centra exclusivamente en un tema específico, se puede anticipar el número de investigadores que poseen "n" obras, aplicando la siguiente ecuación:

$$A_n = A^1/n^2 \quad (1)$$

Donde  $A_n$ : Se define como el número de investigadores que tienen "n" publicaciones, donde  $A^1$  representa a aquellos con una sola publicación y  $n^2$  corresponde al cuadrado del número de publicaciones (Lotka, 1999). En otras palabras, la cantidad de investigadores que producen "n" obras se relaciona de manera inversa al cuadrado de la cantidad de publicaciones (Estrada, 2003). Este análisis no se restringe únicamente a evaluar el total de colaboradores durante un intervalo de tiempo determinado, sino que asimismo busca asemejar a los investigadores más destacados en términos de productividad.

Las leyes de Price asimismo forman parte de esta clasificación. Estas incluyen la Ley del Crecimiento Exponencial de la Información de documentos investigativos, esto describe como el aumento acelerado en la producción de conocimiento; la Ley del Envejecimiento u Obsolescencia de la Literatura Científica, que describe la disminución relevante de trabajos a lo largo del tiempo; y la Ley de Dispersión de la Literatura Científica, que examina cómo distribuyen el conocimiento entre diferentes campos y disciplinas.

#### ***4.2.1 Ley del crecimiento exponencial de la información científica***

Las leyes de Price asimismo forman parte de esta clasificación. Estas incluyen la Ley del Crecimiento Exponencial de la Información de documentos investigativos, esto describe como el

aumento acelerado en la producción de conocimiento; la Ley del Envejecimiento u Obsolescencia de la Literatura Científica, que describe la disminución relevante de trabajos a lo largo del tiempo; y la Ley de Dispersión de la Literatura Científica, que examina cómo distribuyen el conocimiento entre diferentes campos y disciplinas.

$$N = N_0 * e^{b*t} \quad (2)$$

$N$ : medida que está vinculada a la dimensión de la ciencia

$N_0$ : representa la dimensión en un momento inicial ( $t = 0$ )

$t$ : tiempo transcurrido

$t$ : constante relación velocidad de incremento y volumen ya existente de la ciencia

Dividir el crecimiento en dos partes fue mencionado por Price: primero, un aumento rápido donde la tasa de crecimiento depende de cuántas muestras tenga, y luego un aumento constante donde la tasa de crecimiento permanece igual sin importar cuán grande sea el sistema. Las etapas se describen en antecesores, incremento exponencial, desarrollo lineal y declive de la investigación científica.

El crecimiento exponencial no se limita únicamente a la literatura científica, sino que también afecta a la cifra de los autores. Así que, el resultado inicial a la que llegó Price sobre este aumento exponencial fue la idea de la "modernidad de la ciencia", esta manifiesta cómo el número actual de científicos casi iguala o supera la suma de todos los que han existido en el pasado. Sin embargo, el crecimiento exponencial no puede continuar indefinidamente; Es fundamental establecer un límite, conocido como umbral o punto de saturación. Cuando este límite ha sido reconocido, Price sugirió que el desarrollo científico sigue un patrón que se asemeja a un modelo logístico.

#### ***4.2.2 Ley de principio de obsolescencia en la literatura científica***

Price, J.S. alertó sobre la relevancia continua de las publicaciones científicas disminuye a un paso creciente con el tiempo. Este fenómeno sugiere que el conocimiento científico se vuelve obsoleto más rápidamente conforme avanza el tiempo, lo que implica la necesidad de una constante actualización en la literatura científica para mantenerse al día con los avances y descubrimientos más recientes.

#### ***4.2.3 Ley de distribución de investigación literaria***

Bradford indica el principio de dispersión definido, al analizar las publicaciones especializada en un área específica, esta tiende a concentrarse con una reducida cantidad de catálogos, formando así un base. Desde esta base, se observa que se forman zonas o áreas de Bradford donde se necesitan más revistas para encontrar la misma cantidad de artículos. Estas zonas se organizan de manera que las revistas están dispuestas en orden descendente según su productividad en el tema específico, con un conjunto más específico de revistas enfocadas en el tema, así como áreas o grupos adicionales que albergan una cantidad comparable de artículos a la del núcleo.

La dispersión, según la teoría de Bradford, muestra que, al explorar la literatura experta en un asunto específico, esta es publicada en una cantidad mínima de catálogos, conocido como la base. Desde este base, se crean áreas adicionales en las que es necesario más cantidad de catálogos y así alcanzar la igualdad del número de artículos, esto se denomina sector o área de Bradford 1, y este patrón continúa en sucesivas zonas.

Al clasificar los catálogos académicos de manera descendente, conforme a la cantidad de publicaciones acerca de un asunto en específico, se consigue identificar un grupo central de

revistas dedicadas principalmente a ese tema, así como diversos grupos o sectores que albergan una cantidad comparable de artículos a la del núcleo.

$$J_p = C p - 2 \quad (3)$$

$J_p$ : Cantidad de catálogos científicos.

$p$ : Conjunto de publicaciones dentro de una disciplina.

$C$ : Valor fijo.

Como resultado esta ecuación, se formaron diversos conjuntos o áreas en las cuales se albergan en igual número de publicaciones, donde las interacciones en estas áreas resulten:

$$1 : n : n^2 : n^3 \quad (4)$$

Sumado a la ecuación dada anteriormente, Bradford elaboró un gráfico de su ley que presenta una línea curva creciente donde se transforma como línea recta en una ubicación precisa, designando los puntos de referencia de ese lugar como la base.

### 4.3 Indicadores bibliométricos

Basados en la bibliografía de referencia, los indicadores bibliométricos son instrumentos diseñados con el fin analizar el desarrollo del conocimiento y valorar la relevancia de un esfuerzo científico, así como de otras iniciativas. La información estadística extraída de los artículos científicos conforma estos índices. Su importancia radica en la función esencial de las publicaciones en la difusión de nueva información en todas las fases del método científico. Es importante darse cuenta de que los datos estadísticos no deben utilizarse como única norma para evaluar los esfuerzos científicos, sino que deben emplearse de forma lógica para proporcionar explicaciones científicas tangibles y fiables (Terrada, 1991).

Mediante estos indicadores, es posible evaluar el desarrollo de cualquier disciplina científica considerando diversos aspectos, como la cantidad de publicaciones, la colaboración entre

escritores, la actividad de los institutos de investigación, la relevancia de las comunicaciones, la participación de naciones y academias, la productividad de los investigadores, y la existencia de comunidades académicas, considerando elementos como el número de referencias recibidas.

Para darle dirección efectiva de los indicadores bibliométricos, se deben considerar las siguientes condiciones fundamentales como: La práctica de estos debe estar respaldada por evaluaciones de expertos en el campo respectivo; dado que los indicadores no tienen la misma relevancia en todas las áreas científicas, se requiere el uso de múltiples indicadores para obtener resultados confiables; para garantizar la fiabilidad y valor de un indicador, es esencial someterlo a un estudio riguroso; estos indicadores escasean de significado por sí solos, por lo que es imprescindible vincularlos con el origen de la información utilizada; los indicadores por sí solos no proporcionan conclusiones sólidas y definitivas; es crucial rechazar cualquier intuición y limitarse a interpretar los indicadores, basándose en modelos numéricos; la dificultad o simplicidad de estos indicadores puede variar, entonces no se pueden analizar de manera estándar y la evaluación de actividades requiere el uso de indicadores específicos adecuados para el propósito de la evaluación.

Los indicadores bibliométricos, que abarcan factores, así como el avance, el tamaño, la organización y la exposición, proporcionan una de las formas para evaluar e informar acerca del estado de la investigación en cualquier disciplina científica. De este modo, permiten evaluar la calidad de los esfuerzos científicos, así como el impacto o influencia del trabajo y las fuentes consultadas (Fernández, 2002).

Desde esta perspectiva, se dividen en dos categorías principales: la primera son las medidas cuantitativas sobre investigación académica, como el número de artículos, que ofrecen una representación visual del estado actual del conocimiento y la segunda son los indicadores de

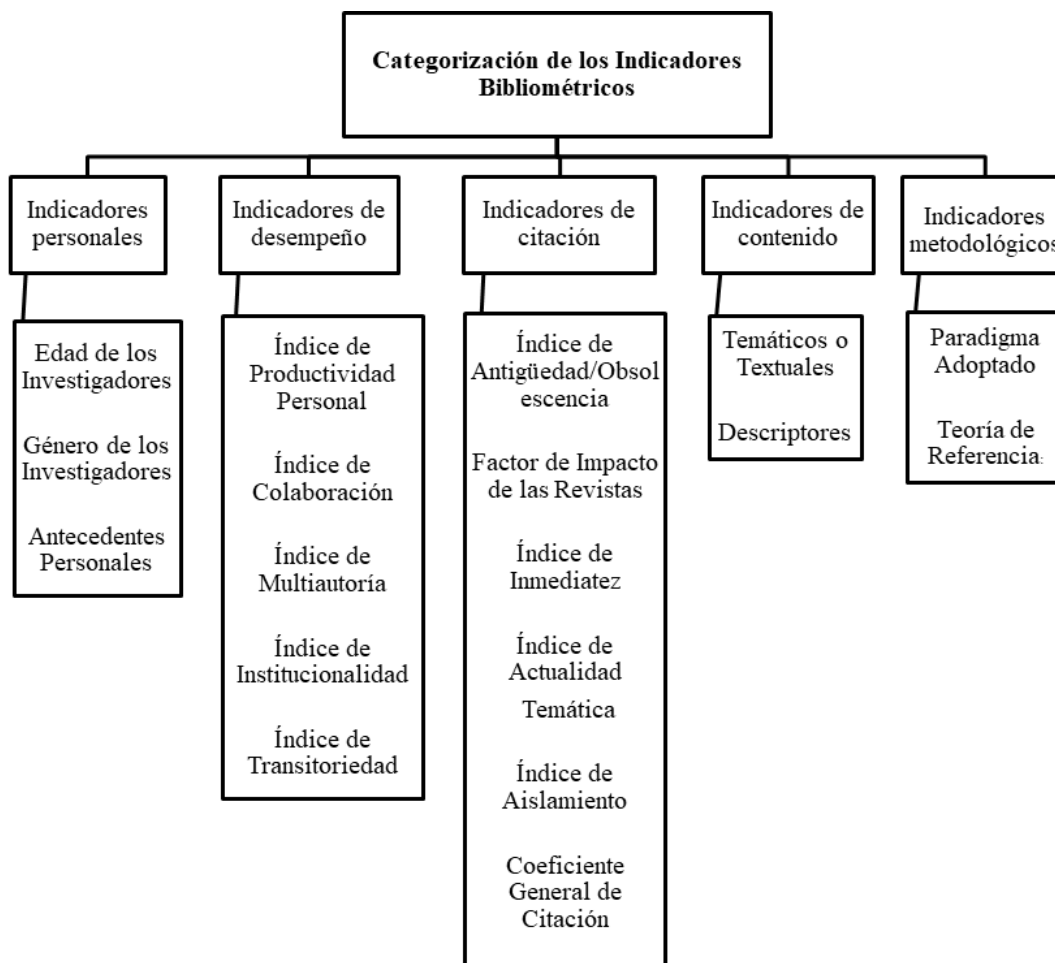
impacto, que dependen o se fundamentan del número de referencias que ha recibido el trabajo y evalúan la relevancia del documento según el reconocimiento de otros investigadores (Campos et al., 2008).

#### 4.3.1 Caracterización de los indicadores bibliométricos

Estos indicadores evalúan la influencia de escritores y catálogos, aunque también pueden subdividirse en otras cinco categorías: personal, producción o desempeño, sustancia o citación, proceso o contenido y referencia o metodológicos.

**Figura 1**

*Caracterización de los indicadores bibliométricos*



*Nota.* La categorización de los indicadores bibliométricos permite analizar, comparar y evaluar la producción científica de manera más precisa y contextualizada así permitiendo identificar tendencias.

**4.3.1.1 Indicadores personales.** Se les asignan una serie de características cualitativas que están directamente vinculadas al autor del estudio, lo que significa que se hace alusión a indicadores vinculados al tipo de autor. Esta variable ha evolucionado como uno de los aspectos más analizados dentro de la comunidad científica, junto con otros factores, por ejemplo: el tiempo de vida, el género y el registro personales. Si bien los parámetros bibliométricos tienden a mostrarse significativos, ofrecen conocimiento preciso acerca de las propiedades de la comunidad de investigadores en algún campo específico.

**4.3.1.2 Indicadores de desempeño.** Pertenecen a su naturaleza cuantitativa, ya que proporcionan datos sobre el número de gestiones efectuadas.

**4.3.1.2.1 Índice de desempeño personal.** El presente indicador se encuentra ampliamente empleando en la evaluación de la productividad, calculándose según la cantidad de investigaciones por autor, entidad o colectivo. Está influenciado según Lotka en su ley, aplicada en la definición en las áreas investigativas, representando el método de recuento numérico en base 10 del número de publicaciones producidas.

$$ID = \log N \quad (5)$$

*ID*: representa la medida de la productividad de desempeño individual.

*N*: Numero de publicaciones.

Un  $ID \geq 1$  implica una creación de diez artículos o superior, donde el logaritmo de diez es uno. Por otro lado, cuando  $ID = 0$  significa la elaboración de un único artículo, donde el logaritmo de uno es cero (Arenas et al.,2003).

Esta definición nos permite categorizar a los autores en tres grupos de acuerdo con su rendimiento: Los productores importantes, con un  $ID \geq 1$  (diez o más publicaciones y un índice de desempeño de uno o superior); Los productores de nivel medio, con  $0 < ID < 1$  (dentro de dos y nueve publicaciones y un nivel de productividad por encima de cero, pero inferior a uno) y los Productores Transitorios, con un  $ID = 0$  (una publicación con un índice de desarrollo igual a cero).

Sumado a la función primordial, el índice de desempeño se usa para estimar el índice de transitoriedad, que se define en términos porcentuales de un grupo específico de artículos que corresponden a científicos transitorios.

**4.3.1.2.2 Índice de transitoriedad.** Price fue quien propuso este índice y este hace referencia al número de científicos que tienen una publicación en un área en concreto. La cantidad de científicos transitorios o esporádicos representa cerca del 70% del total en la actualidad si se realiza una comparación con los destacados escritores literarios o también llamados autores permanentes. El índice mencionado tiende a disminuir en disciplinas, temas o naciones donde se realiza una constante investigación.

$$IT = (ID = 0) \quad (6)$$

Estos científicos figuran con tan solo una publicación y jamás vuelven a publicar; en cambio, los escritores destacados están de manera continua y se ve que van a mantener apareciendo en las citaciones.

**4.3.1.2.3 Índice de colaboración.** La cantidad de colaboración ha fluctuado con el tiempo y varía según el campo de estudio, mostrando un incremento considerable en la colaboración científica, especialmente en disciplinas científicas en comparación con las humanidades y ciencias sociales. (Alonso et al.,2005).

La investigación tiene un aspecto destacado en los estudios bibliométricos, donde se utiliza como un indicador de ayuda entre escritores y para hacer una evaluación de la cantidad de equipos especializados en estudio. Este índice se calcula a través de una estadística que representa la tendencia de escritores por cada trabajo y esta se divide en el total de trabajos investigativos lanzados en una revista específica.

$$IC = \frac{\sum_{i=1}^n j_i n_i}{N} \quad (7)$$

$N$ : Total de trabajos.

$j_i$ : Total de trabajos con múltiples escritores.

$n_i$ : Cantidad de trabajos con  $j$  escritores, o que  $j$  fueron equipos cooperantes.

Es posible calcularlo con la resta entre firmas internas o locales y externas, las cuales son de otras comunidades investigativas. Existen diversas controversias en torno a este índice en cuestión al tratar con las investigaciones que se hicieron por múltiples escritores, porque no hay una metodología establecida para realizar un índice numérico de trabajos por cada escritor. En contexto, unas investigaciones sobre bibliometría los cuales tienen como fin realizar un estudio científico se enfoca en los distintos métodos a emplear para llevar este índice numérico. Como lo dice Ferreiro.

**4.3.1.2.4 Índice de varias autorías.** El índice de varias autorías es estrechamente ligado al de colaboración, y este es el recuento de escritores en un estudio. Este indicador facilita la identificación los grupos de estudios que tienen igualdad de intereses y además trabajan en zonas afines o campos relacionados, aunque estén ubicados en diferentes lugares estos son llamados "colegios invisibles". Estos colegios interactúan, y mutuamente son relacionados con el objetivo de avanzar en una investigación, compartiendo los datos tanto de sus artículos y como en

aquellas investigaciones que aún no han sido publicadas. Este índice es o se define básicamente a la cantidad de escritores por estudio.

**4.3.1.2.5 Índice de institucionalidad.** También conocido como índice de internacionalización, este es la ayuda entre academias y esta es crucial para el grado de cooperación, ya que cada autor está relacionado con un estudio. El índice institucional busca analizar y examinar la modalidad de cooperación y la elaboración de documentos de cada una de las academias, esto se realiza utilizando indicadores como el índice de colaboración nacional e internacional. (Sánchez et al.,2006)

**4.3.1.3 Indicadores de citación.** Estos son fundamentados con la evaluación de citas y comunican sobre la caducidad de un documento que ha sido publicado.

**4.3.1.3.1 Índice de obsolescencia.** La desactualización o el deterioro de la documentación de investigación es evaluado con dos medidas: una es la vida media y el otro como el factor de envejecimiento es representado como:

$$U_t = a^t \quad (8)$$

U: utilidad (uso de los documentos)

t: tiempo en años,

$a^t$ : factor de envejecimiento

$U_t$ : utilidad residual

(Granda-Oriv et al.,2003).

Indicador de la vida media: Este indicador viene de 1960 por contribuciones de Raising y Westerbrook quienes decían que una publicación tenía un impacto en relación con la revista y el escritor y que estas tenían que ver con la cantidad publicaciones y de citas recibidas. Años más tarde adoptada por SCT (Science Citacion Index) y luego definido por Burton y Keblrer como la

velocidad a la cual se realizan las publicaciones hacen que los artículos o trabajos tengan un impacto científico negativo o positivo y que además se pueden convertir en artículos nulos. (Miralles et al.,2005).

Esta técnica considera el momento como en el principal indicador de las investigaciones citadas, también basadas en el estudio de las referencias bibliográficas la cual depende del año de publicación. (López et al.,1992).

$$Vmt = K + \left( \frac{a - a_1}{a_2 - a_1} \right) \quad (9)$$

$K$ : número entero de años necesarios para acumular el 50% de la literatura activa

$a$ : es el 50% de la literatura activa;

$a_1$ : es el valor % acumulado antes de llegar al 50%

$a_2$ : es el valor % acumulado posterior al 50%

(Escorcia,2008).

Este indicador se basa en la antigüedad o edad de las citas en las que están los artículos de las bibliotecas o revistas es conocido como “citing half-life” es decir nos ofrece una información valiosa en el momento de buscar en archivos o bibliotecas y tomar decisiones respecto a esto ya que nos brinda datos como el tiempo de publicación de casi todos los artículos. Hacer el cálculo del promedio de vida de un artículo es de gran utilidad ya que permite evaluar su relevancia en un periodo determinado y además para comprender el nivel de obsolescencia las publicaciones. (Rueda et al.,2005). para calcular la vida media (half-life), que es equivalente al promedio aritmético (mean life) de las referencias consultadas distribuidas según el año de publicación, este es un método visual propuesto por Brookes en 1970.

Indicador de Price: En 1970 Price propuso evaluar la cantidad de citaciones en cada artículo que sea reciente, es decir, que no superan los cinco años, en relación con el total de referencias.

$$IO = \frac{\text{Documentos} - 5\text{años}}{\text{Total}} * 100\% \quad (10)$$

En 1986 Price dice que el indicador de obsolescencia difiere de acuerdo con el campo o de la experiencia, teniendo en cuenta que la literatura tiende a volverse obsoleta rápidamente. Además, esta variación también está influenciada por el tipo de documento examinado, dado que investigaciones previas indican que los artículos tienden a ofrecer una base de información reciente si se relaciona con la naturaleza más clásica en las revistas o artículos.

**4.3.1.3.2 Índice de impacto de los artículos.** Es un factor empleado con el fin de medir la relevancia de las publicaciones de artículos o catálogos y hacer una revisión a modo de comprar con demás artículos que están relacionados. Se basa en saber el impacto de manera cuantitativa de un trabajo o proyecto mediante el recuento de las citas bibliográficas que tiene la misma investigación siguiente publicaciones.

A través de un estudio realizado en 1927 por Gross, el cual consistía en revisar las citas bibliográficas y hacer un recuento básico las cuales eran generadas por trabajos o artículos en revistas químicas hasta ese momento, lo que lo convirtió en el precursor del factor de impacto. Tiempo después Raisig y Westbrook en 1960 señalaron importantes deficiencias en el estudio de Gross y expusieron un nuevo método para medir el impacto, que consistía en dividir la cantidad de artículos citados entre la cantidad de artículos publicados.

El índice de impacto definida por Garfield en 1983, presentado en los JCR (Journal Citation Reports), marcó el principio de una fase significativa en el análisis bibliométrico, porque este

factor se utiliza a nivel internacional para medir la divulgación y el impacto en la documentación investigativa.

$$II = \frac{cb}{art_c} \quad (11)$$

*cb*: número de artículos citados

*art<sub>c</sub>*: número de artículos publicados

El índice de impacto de los artículos está influenciado por el tipo de investigación, y por lo general, los artículos los cuales cubren importantes ámbitos científicos y cuentan con una cultura de escritura de poca duración que tiende a tener tasas más altas.

Algunas de las desventajas del índice de impacto son: que en los documentos individuales de investigación o en revistas el índice de impacto no es estadísticamente representativo; que en áreas que tienen un alto índice de impacto son las muestran un desgaste acelerado de las referencias literarias, ya que este índice es determinado en base a la relación de obtención de citas en los siguiente 2 años de difusión; presenta de forma inadecuada las citas correspondientes de cada artículo; la inspección de los documentos aumenta el índice de impacto de las investigaciones, reciben muchas citas si los comparamos con los artículos auténticos; si se hace una comparación de la cantidad de citas que reciben los artículos largos con los cortos se observa que los más extensos reciben más citas; JCR tiene cobertura limitada, porque si se selecciona artículos o investigaciones en inglés, nos muestra mayor cantidad de publicaciones estadounidenses y las revistas incluidas en el JCR cambian de un año a otro (Bordons et al,2002).

**4.3.1.3.3 Factor de inmediatez.** Es un parámetro derivado de citas que refleja la velocidad, ocurrencia o el periodo de tiempo que transcurre desde la publicación de un artículo en una catalogo científico hasta que es recitado en un artículo de un autor diferente. Además, resalta

los catálogos que utilizan información actualizada y de fuentes confiables para poder publicarla, ya que cuanto menor sea el lapso de la divulgación y referir, será más valioso para el grupo de investigadores, al contribuir rápidamente en la creación de nueva información en sus áreas de exploración.

Se establece como la relación entre el total de referencias recibidas por los artículos de una revista en un año y el número total de artículos publicados en esa misma revista durante ese año.

$$FI_{año} = \frac{\#articulos_{año n}}{\#citas_{año n}} \quad (12)$$

*FI*: índice de inmediatez

*n*: el año a evaluar.

Este indicador ha sido objeto de críticas, debido a que las publicaciones por lo general no tienen el mismo rango de propagación en los investigadores. Y sumado a esto, disciplinas como la botánica o la geología cuentan con pocas publicaciones, lo que resulta en una menor obsolescencia en comparación con áreas como las de investigación aplicada.

**4.3.1.3.4 Indicador de temática de actualidad.** En 1990 Kidd plantea o propone que la razón de hacer una comparación de indicadores semejantes por ejemplo el factor de inmediates y las citas bibliográficas tengan mayor valor discriminativo.

**4.3.1.3.5 Indicador de aislamiento.** También conocido como insularity, se refiere al número de referencias que proviene de investigaciones difundidas en la misma nación y que son publicadas en bibliotecas o revistas y estas muestran una difusión internacional o aislamiento de una nación. "Insularity" ha sido traducido en ocasiones de manera inadecuada al español como «insularidad», lo que refleja una falta de comprensión en ambos idiomas.

$$IA = \frac{citas_{pais}}{Total_{citas}} * 100\% \quad (13)$$

**4.3.1.3.6 Factor de auto citación.** En cuanto a índices bibliométricos es el más usado ya que brinda la cantidad de auto citas en termino de porcentajes y es básicamente la cantidad de citas obtenidas por escritor y por revistas. El índice auto citado es un indicador que mide el control de una biblioteca ya que da el nivel de expansión y es medido por 3 factores que tienen un rango entre 0 y 1, estos factores fueron consolidados en Filadelfia por ISI (Institute for Scientific Information). Expansión total este es el complemento, expansión en el ámbito de su propia disciplina y expansión hacia otras disciplinas, que indica cuán receptiva es la revista a publicaciones de otras áreas del conocimiento o de la misma disciplina.

$$SCR = \frac{Autocitas}{Total_{citas}} * 100\% \quad (14)$$

Cuando en la misma revista o biblioteca se publica el documento como las citas y referencias que están en dicho documento aun así no tengan mismo autor, o compartan ningún autor esto es conocido como auto citación.

**4.3.1.3.7 Factor de citación general.** Este factor tiene como función saber la identificación del escritor, las investigaciones en las que es mencionado y la descripción de la cita bibliográfica, este es recogido con el índice de impacto y factor de inmediatez esto se realiza con los datos de Journal Citation Reports, ISI (Science Citation Index and Arts) y además índices de citas humanitarias.

**4.3.1.4 Factor de contenido temático.** La información de contenidos, las cuestiones centrales y las áreas de estudio en cualquier rama científica es esencial. Por lo tanto, resulta muy interesante comprender cómo han cambiado las tendencias de investigación a través de los años.

Se tienen varios enfoques que permiten examinar los campos de estudio como: utilizando en los títulos o en el texto palabras claves, utilizando descriptores y utilizar clasificaciones predefinidas o estandarizadas que se encuentran en tesauros.

**4.3.1.5 Factores metodológicos.** El factor metodológico proporciona acerca de las transformaciones ocurridas en el enfoque de los documentos científicos (teoría, las técnicas y los procedimientos empleados). Al mencionar indicadores o factores metodológicos, se hace alusión a aspectos como el prototipo elegido, metodología de operación, modelos tanto generales como específicos aplicados y así como metodologías con las cuales se hacen los análisis.

#### ***4.3.2 Limitaciones de los indicadores bibliométricos***

El análisis las actividades investigativas o científicas es fundamental y es por esto que se utilizan los indicadores bibliométricos, pero en algunas ocasiones son utilizados inadecuadamente ya que por lo general no todos los indicadores son aplicables a todos los documentos, ya que cada uno presenta ciertas limitaciones que es importante conocer:

##### **4.3.2.1 Limitaciones de las citas**

**4.3.2.1.1 Problemas conceptuales.** El impedimento al momento de utilizar citas depende de los métodos reconocidos que carecen de explicación al momento de realizar citas y según varios estudios esta es una de las principales barreras a causa de que se incluyen tanto los escritores influyentes y los que no lo son realmente en los estudios bibliométricos. Además, otras investigaciones muestran que los artículos citados suelen ser preferentemente en el mismo idioma y que también se tiende a auto citar artículos de la misma revista.

Se deben considerar varios factores durante el proceso de citación como: expresar agradecimiento por la contribución del autor mencionado, defender de manera persuasiva las tesis

propuestas y emplear publicaciones de renombre internacional para reforzar la confianza de la investigación expuesta.

**4.3.2.1.2 Problemas técnicos.** Alguna de las limitaciones ligadas a los datos al utilizar fuentes son equivocaciones en el diseño de letras o fuentes al mencionar fuentes bibliográficas y a los escritores; la aparición de palabras con significados diferentes, así como la variabilidad en la forma en que algunos autores firman a lo largo del tiempo. Además, la búsqueda de citas CD-ROM que es la versión SCI por que solo se puede realizar utilizando el nombre del primer escritor de un citado en la investigación, estas limitaciones son originadas generalmente por SCI ya que sin quienes incluyen bibliografía en las investigaciones científicas.

**4.3.2.1.3 Variaciones entre documentales.** El número de citas las publicaciones dependen del tipo de investigación. Normalmente los investigaciones originales e investigaciones de revisión tienen más citaciones, porque la metodología que utilizan es frecuentemente utilizada y por el manejo exhaustivo de la bibliografía

**4.3.2.1.4 Variaciones entre áreas.** Es difícil hacer una comparación de la dinámica bibliográfica entre la que las diferentes áreas de investigación ya que la obsolescencia puede variar según el ritmo de avance de cada disciplina y la frecuencia citación de investigaciones, es por esto que los autores de áreas específicas normalmente hacen referencia a estudios actuales, pero si el ritmo es lento es común citar investigaciones antiguas. La de obsolescencia en las investigaciones en una disciplina específica puede determinarse con el cálculo de la tendencia de vida de acogida de dicha investigación. Y si la tendencia es menor más rápida será el ritmo de envejecimiento.

Los indicadores de citación y publicaciones poseen varias fortalezas en su estructura, ya que pueden aplicarse a diferentes metodologías además que tener resultados tiene un costo muy bajo y según las métricas son métodos confiables. Esta medición permite una evaluación

cuantitativa de los artículos y sus citas, así como una evaluación cualitativa por medio de investigaciones destacadas, con respectivo impacto se basa en supuestas limitaciones y esta demostración se adapta a todas las ramas del conocimiento, donde estas demostraciones son reflejadas en las investigaciones y el impacto se mide a través de las citas. Asimismo, el análisis de estas citas permite evaluar la función que cumplen científicos, así como su influencia en la comunidad a través del proceso de producción e innovación. (Bordons et al., 2002).

**4.3.2.2 Limitaciones del índice de impacto.** Las restricciones al momento de realizar un estudio de fuentes y de investigaciones científicas también es usado en el índice de impacto, ya que este es calculado según el número de citas recibidas. Por ejemplo, el índice de impacto en las ciencias básicas es alto y en el área biomédica este índice es bajo. Las áreas con un FI elevado suelen estar vinculadas a una rápida obsolescencia de la literatura. En las ciencias de la salud, el índice de impacto suele ser mayor si comparamos revistas especializadas con las de medicina general, aunque esto no influye necesariamente en las publicaciones de una u otra sean de mejor o peor calidad en relación con otras disciplinas. Sin embargo, factores como la cantidad del equipo de análisis documental, la obsolescencia de las referencias bibliográficas y las prácticas de referenciación sí tienen un impacto.

Las especialidades más reducidas Suelen tener un índice de impacto bajo, en contraste de las más grandes, que suelen presentar valores más altos. A continuación, se detallan algunas restricciones del índice de impacto de acuerdo con las distintas especialidades:

**4.3.2.2.1 Diferencias entre especialidades.** Dentro de las especialidades calificadas de las disciplinas de la salud se acostumbra a manifestar un índice de impacto más bajo en comparación con las ciencias básicas, que presentan índices significativamente más altos.

**4.3.2.2.2 Tamaño del área.** En áreas pequeñas, las revistas asociadas suelen tener un índice de impacto reducido, mientras que las disciplinas más amplias tienden a exhibir valores más elevados.

**4.3.2.2.3 Obsolescencia bibliográfica.** Las áreas con una rápida obsolescencia bibliográfica suelen tener un índice de impacto alto. Este es el resultado a que el índice de impacto se obtiene a partir de las citas obtenidas a los dos años siguientes a la difusión de la publicación (efecto de breve plazo). Estas áreas, predominan citas a documentos recientes, que se tienen en cuenta para calcular el índice de impacto. Sin embargo, en disciplinas con un crecimiento lento (como cirugía y pediatría), los documentos citados suelen tener una antigüedad superior a dos años, esto con lleva a que es indispensable utilizar el índice de impacto a corto plazo, o sea, considerando un lapso de 4 a 6 años.

**4.3.2.2.4 Dispersión no uniforme de citas.** El índice de impacto no refleja adecuadamente el efecto de un documento particular de una revista; Es mejor emplear el índice de impacto para analizar un conjunto extenso de documentos. El índice de impacto no sirve para valorar la producción de un autor específico, ya que se podría contar las citas reales obtenidas por sus trabajos. Esto es porque la disposición de las citas entre los artículos o publicaciones de una revista es asimétrica; un pequeño diminuto número de publicaciones pueden obtener una alta cantidad de citas, mientras que otros no obtienen ninguna citación. Por lo consiguiente, se puede concluir que un 15 % de los artículos publicados en las revistas obtienen el 50% de las citas.

### **Tabla 1 Relación tipo de citas de documentos e índice de impacto (II) de las revistas**

*Relación tipo de citas de documentos e índice de impacto (II) de las revistas*

Citas de documentos	Índice de Impacto (II) de las revistas
la difusión, divulgación es impacto son el reflejo de las citas investigativas.	En una revista el índice de impacto funciona con un factor de divulgación internacionalmente
Por lo general las publicaciones no reciben ninguna cita	En una revista no es confiable el índice de impacto por la cantidad de citas que puede obtener un artículo en específico.
Los artículos de revisión y los estudios metodológicos suelen registrar tasas de citación elevadas.	Las revistas dedicadas a artículos de revisión presentan factores de impacto elevados en su campo específico.
La probabilidad de que un trabajo reciba citas difiere entre distintas disciplinas.	El Factor de Impacto presenta diferencias según las distintas disciplinas.
Las publicaciones tienen una mayor probabilidad de ser citadas en campos amplios o en aquellos con una gran cantidad de investigadores.	Las revistas que abarcan áreas generales tienden a tener un Factor de Impacto más alto.
Las investigaciones básicas suelen tener una mayor probabilidad de ser citadas en comparación con las investigaciones clínicas. El período de citación debería ajustarse según las distintas disciplinas, siendo más extenso en aquellas áreas donde la investigación tiene un ritmo de envejecimiento más lento.	Las revistas que se centran en áreas fundamentales suelen contar con un Factor de Impacto más alto que aquellas dedicadas a la investigación clínica. El índice de Impacto obtenido por medio de un rango de citación de dos años tiende a beneficiar a las disciplinas con un rápido ciclo de envejecimiento.

*Nota.* Este cuadro es realizado para comparar el número de citas recibidas por documentos académicos con el índice de impacto de las revistas en las que fueron publicados, con el fin de analizar su visibilidad y relevancia científica.

**4.3.2.3 Limitación de factores de actividad investigativa.** En el uso de investigaciones existen limitación como factores de actividad científica, las que se destacan son las siguientes:

**4.3.2.3.1 Carácter cuantitativo.** La información que brindan solo hacer referencia a el número de documentos científicos y no a la calidad de estos. Ya que la idea es que se tenga una evaluación o referencia relevante con expertos en el área en la que se está investigando

**4.3.2.3.2 Diferencias entre áreas.** Que hace referencia a las actividades metodológicas en publicaciones y productividad de los autores varían según el área de estudio y entre las distintas

disciplinas que la conforman, lo que dificulta hacer una relación de variables con diferentes áreas. Las variables son particularmente notables si se comparan diferentes campos investigativos, por ejemplo, el carácter básico es diferente al carácter clínico en cuanto a la medicina, se observan diferencias significativas según si la actividad es de carácter básico o clínico; porque las de carácter básico tienden a demostrar más productividad por que normalmente es indispensable la atención sanitaria en comparación con los resultados investigativos.

#### ***4.3.3 Otros indicadores bibliométricos***

Los indicadores bibliométricos fueron mencionados en 1927 como una metodología para calificar las publicaciones de artículos, el cual fue adoptado por grupos científicos en Europa. Posteriormente, este enfoque se expande al continente americano y, eventualmente, al resto del mundo. En 1963, el Science Citation Index (SCI) implementó este método, que hoy es implementado a nivel internacional con el fin de analizar y calificar la calidad de artículos de investigación. pero se han propuesto nuevas medidas o alternativas con la función de mejorar estos indicadores ya que han demostrado debilidades

El índice de Impacto (II) es reconocido por ser el principal índice en los análisis bibliométricos de artículos investigativos. Ya que estos se ajustan y son aplicables a investigadores, instituciones y regiones Su aplicación y ajuste en la evaluación de instituciones y grupos de investigación han dado desarrollando diversas variantes (Benavent et al., 2007).

**4.3.3.1 Cantidad de artículos.** Con la cantidad de documentos científicos originales y reseñas publicadas por año, se conoce un indicador el cual proporciona a los consumidores información relevante como el impacto positivo de estos documentos en el rango específico seleccionado. Los datos obtenidos suelen utilizarse como el denominador de este indicador, lo que implica que los resultados dependen del parámetro inicial de acuerdo con su globalización.

**4.3.3.2 Factor por año en puntos.** El análisis y evaluación de este factor evalúa cantidad y calidad de los escritores. Se obtiene calculando el impacto de las publicaciones y la cantidad de publicaciones durante el mismo periodo de tiempo. Por ejemplo, si un grupo de investigación pública 5 artículos originales con un índice de Impacto de 2.1, el factor por año sería de  $5 \times 2.1 = 10.5$  puntos. La función principal de este factor es obtener conocimiento haciendo una comparación de desempeño en función de la capacidad de impacto en la producción de documentos investigativos

**4.3.3.3 Costo del factor por año.** Este enfoque analítico tiene como objetivo establecer una relación entre el presupuesto asignado y el desarrollado por escritores en un rango de tiempo determinado, con factor por año en puntos en este mismo rango de tiempo. Por ejemplo, el escritor invierte en un año \$300.000.000 y genera 20 puntos como factor en este año, el costo del factor por año sería de \$15.000.000 anuales.

A diferencia de los indicadores convencionales, esta métrica no se limita a contabilizar únicamente los puntos de impacto producidos; también toma en cuenta el costo asociado a su generación. Este factor realiza un análisis evaluativo del escritor en la producción de alta calidad a un menor costo. Su relevancia se hace evidente especialmente en el análisis evaluativo del desempeño de escritores más pequeños que operan con recursos económicos limitados.

Además, de otros factores existentes entre ellos la influencia por la cantidad de escritores en conjunto, influencia per cápita en cuanto a naciones, relacionando cantidad de patentes y factores de impacto. Estos indicadores son útiles en contextos específicos; Sin embargo, en la complejidad propia para propagar y producir información, hay numerosos indicadores que a menudo se subestiman al hacer una relación comparativa de la generación de investigación de

grupos o regiones concretas. Esta situación ha alimentado las críticas hacia el sistema de evaluación basado en indicadores bibliográficos.

#### ***4.3.4 Clusters y nodos***

En un análisis bibliométrico, los nodos y los clusters se crean utilizando los indicadores bibliométricos que cuantifican diferentes aspectos de las publicaciones científicas.

Los indicadores bibliométricos se utilizan en conjunto con técnicas de análisis de redes y métodos de agrupamiento para crear nodos y clusters en un análisis bibliométrico, lo que permite visualizar y comprender la estructura y las relaciones entre las publicaciones científicas en un campo de investigación específico.

**4.2.4.1 Creación de nodos.** Los nodos suelen representar documentos individuales, como artículos científicos, autores y países. Para crear los nodos, se utilizan indicadores como el número de citas recibidas, la frecuencia de aparición de términos clave o la relevancia de los documentos en relación con un tema específico. Estos indicadores ayudan a asignar una medida cuantitativa a cada documento y a definir su importancia en el análisis.

**4.2.4.2 Creación de clusters.** Son conjuntos de nodos que comparten características similares. Para crear clusters, se utilizan técnicas de agrupamiento que buscan identificar grupos de nodos que estén estrechamente relacionados entre sí en función de ciertos criterios bibliométricos. Estos criterios pueden incluir la similitud en términos de citas recibidas, la co-ocurrencia de términos clave o la proximidad en redes de coautoría. Al aplicar algoritmos de agrupamiento a la red de nodos, se identifican y se forman clusters que representan subconjuntos de documentos relacionados entre sí de manera significativa.

## 5. Metodología

Se llevó a cabo un análisis bibliométrico descriptivo con el objetivo de evaluar el estado actual de las tecnologías en cuestión. Este análisis se centró en la revisión minuciosa de trabajos publicados en revistas académicas presentes en bases de datos reconocidas, incluyendo Web of Science, ScienceDirect y Scopus. El propósito principal fue determinar el panorama actual y las tendencias emergentes en el campo de estudio.

### 5.1 Análisis de la publicación científica Web of Science

La base de datos de Web of Science recoge publicaciones de autores que pueden estar exclusivamente en esta plataforma o en otras similares. Esta diversidad de fuentes contribuye a enriquecer la información disponible, garantizando su calidad y variedad.

#### 5.1.1 *Buscar la sección de Biblioteca o Recursos Electrónicos*

Para acceder a la base de datos Web of Science a través de la Universidad Industrial de Santander, es necesario ingresar inicialmente al sitio web institucional. Dentro de la plataforma, se debe ubicar la sección de Biblioteca y, posteriormente, acceder al apartado de Herramientas o Recursos Electrónicos. Desde esta sección, es posible encontrar el enlace que direcciona directamente a la plataforma de Web of Science. El acceso a través de esta vía garantiza que la conexión se realice bajo la suscripción institucional, permitiendo el uso completo de los recursos disponibles para la comunidad académica de la universidad.

#### **Figura 2**

*Acceso a recursos bibliográficos y bases de datos de la Universidad Industrial de Santander Web of Science*



The screenshot displays a navigation menu at the top with categories: Sistema de Consultas UIS, Multidisciplinarias, Básicas, Aplicadas, Sociales y Humanas, Salud, Herramientas, eBooks, Normas, and Acceso Abierto. The main content area features three sections:

- NewsBank**: A database with over 7,000 newspapers at national and international levels, containing reports, blogs, and research articles. It includes a direct access link to the newspaper *EL TIEMPO*.
- Web of Science**: A referential access to international scientific information from ISI, featuring a search interface and a description of its multidisciplinary coverage and citation tools.
- RefWorks**: A tool for managing bibliographic references online, designed to simplify workflow and increase productivity.

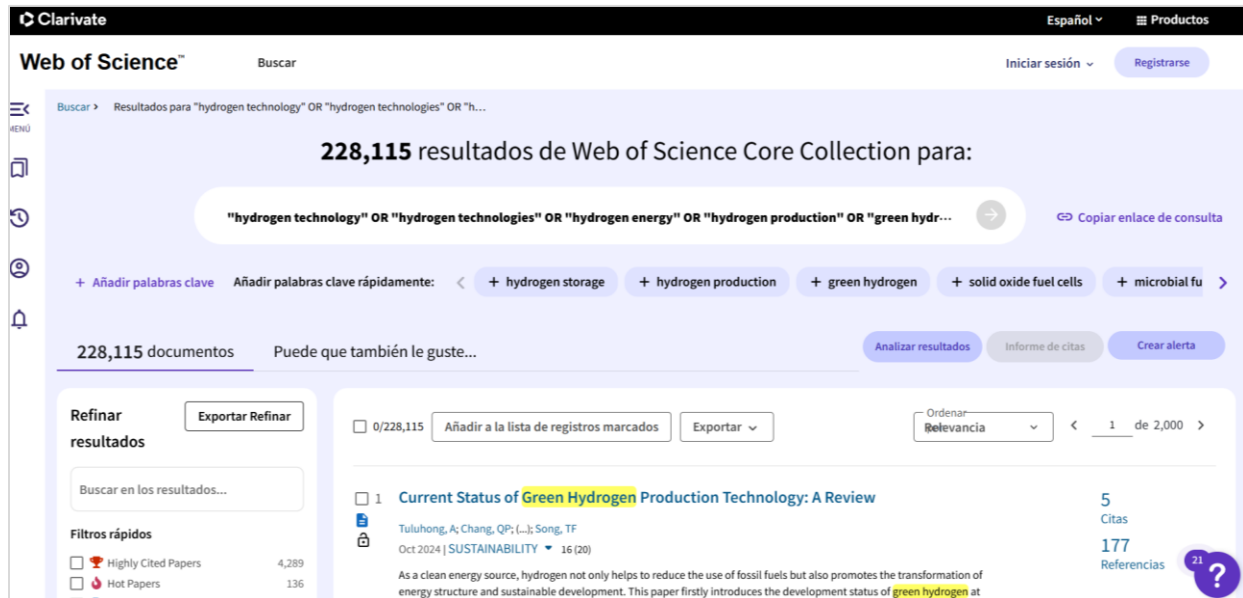
*Nota.* Figura que muestra las herramientas de acceso a recursos bibliográficos y bases de datos disponibles para la comunidad universitaria, incluyendo el enlace directo a Web of Science y otros recursos académicos especializados, accesibles a través del portal institucional.

### 5.1.2 Realización de búsquedas

Para la realización de las búsquedas dentro de la plataforma Web of Science, se empleó una estrategia basada en el uso de palabras clave relacionadas con el tema de investigación. Se utilizó la siguiente cadena de búsqueda: "hydrogen technology" OR "hydrogen technologies" OR "hydrogen energy" OR "hydrogen production" OR "green hydrogen" OR "fuel cells" OR "hydrogen storage". El operador booleano OR permitió ampliar el espectro de resultados, incluyendo publicaciones que abordaran cualquiera de estos términos de manera independiente. Esta metodología garantizó una cobertura amplia y pertinente de la literatura científica disponible sobre tecnologías del hidrógeno y temas asociados, facilitando la recopilación de información relevante para el análisis bibliométrico.

**Figura 3**

*Interfaz de búsqueda en web of Science*



*Nota.* La búsqueda en Web of Science se realiza con el propósito de localizar información científica relevante, como artículos, revisiones y otros documentos académicos, que permitan respaldar investigaciones, trabajos académicos o mantenerse actualizado en un área de conocimiento específica.

**5.1.2.1 Filtros de búsqueda.** Una vez realizada la búsqueda inicial en Web of Science, el número de artículos puede ser abrumador. Filtrar adecuadamente los resultados no solo es una cuestión de comodidad, sino una estrategia clave para asegurar la calidad y relevancia de la información que se utilizará en la tesis. Esta etapa permite enfocar la revisión bibliográfica en las publicaciones más pertinentes, reduciendo el ruido académico y fortaleciendo el sustento teórico del trabajo. Aplicar filtros como año, país, tipo de documento o categoría temática es fundamental para delimitar el campo de estudio y orientar con precisión los siguientes pasos del análisis.

**Figura 4**

*Filtrado por Quick filteres o filtros rápidos*

228,398 results from Web of Science Core Collection for:

"hydrogen technology" OR "hydrogen technologies" OR "hydrogen energy" OR "hydrogen production" OR "green hydrogen" OR ...

+ Add Keywords Quick add keywords: < + hydrogen storage + hydrogen production + green hydrogen + solid oxide fuel cells + microbial fuel cells + fuel >

228,398 Documents You may also like... Analyze Results Citation Report Create Alert

Refine results Export Refine

Search within results...

Quick Filters

- Highly Cited Papers 4,289
- Hot Papers 136
- Review Article 16,489
- Early Access 1,739
- Open Access 52,044
- Enriched Cited References 40,571
- Open publisher-invited reviews 249

0/228,398 Add To Marked List Export

Sort by Relevance < 1 of 2,000 >

1 Current Status of Green Hydrogen Production Technology: A Review 5 Citations 177 References

TuluHong, A; Chang, QP; (-); Song, TF  
Oct 2024 | SUSTAINABILITY 16 (20)

As a clean energy source, hydrogen not only helps to reduce the use of fossil fuels but also promotes the transformation of energy structure and sustainable development. This paper firstly introduces the development status of green hydrogen at home and abroad and then focuses on several advanced green hydrogen production technolo ... Show more

Free Full Text from Publisher ...

Related records ? 21

*Nota.* Los Quick Filters de Web of Science son herramientas de filtrado rápido que aparecen en el panel lateral izquierdo después de realizar una búsqueda, y permiten refinar de forma eficiente los resultados sin necesidad de usar funciones avanzadas. Estos filtros incluyen criterios como el año de publicación, tipo de documento (artículos, revisiones, conferencias), idioma, categoría temática (según la clasificación de Web of Science), institución, país o región, entre otros. Su uso es fundamental para enfocar la búsqueda en los trabajos más relevantes, optimizando el tiempo del investigador y mejorando la calidad de la revisión bibliográfica.

## Figura 5

*Filtro por años*

The screenshot displays a search results page in Web of Science. On the left, there is a sidebar with a 'Quick Filters' section and a 'Publication Years' filter. The 'Quick Filters' section includes options like 'Highly Cited Papers' (4,289), 'Hot Papers' (136), 'Review Article' (16,489), 'Early Access' (1,739), 'Open Access' (52,044), 'Enriched Cited References' (40,571), and 'Open publisher-invited reviews' (249). The 'Publication Years' filter is highlighted with a red box and shows a list of years from 2022 to 2026 with corresponding document counts: 2026 (2), 2025 (6,996), 2024 (23,639), 2023 (20,986), and 2022 (18,189). Below this, there is a 'Document Types' section with options like 'Article' (207,395), 'Review Article' (16,489), 'Proceeding Paper' (12,330), and 'Meeting Abstract' (1,815). The main content area shows three search results. Result 1 is 'Current Status of Green Hydrogen Production Technology: A Review' by TuluHong, A; Chang, QP; (...); Song, TF, published in SUSTAINABILITY in Oct 2024, with 5 citations and 177 references. Result 2 is 'Green hydrogen energy production: current status and potential' by Maka, AOM and Mehmood, M, published in CLEAN ENERGY in Apr 1 2024, with 27 citations and 48 references. Result 3 is 'Design, fabrication, and performance assessment for green hydrogen production unit' by El-Aassar, AHM; Mahmoud, FE; (...); Isawi, H, published in INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY in Sep 26 2024, with 53 references. A blue question mark icon with the number 21 is visible in the bottom right corner.

*Nota.* El filtro por año en Web of Science permite delimitar los resultados de búsqueda según el periodo de publicación de los documentos. Esta herramienta es especialmente útil para enfocarse en literatura reciente o en un rango específico de años relevante para la investigación, lo que facilita el análisis de tendencias temporales, la identificación de avances recientes en un área determinada o la comparación entre distintas etapas del desarrollo científico.

## Figura 6

*Filtro por tipo de documento*

The screenshot displays the Web of Science search results interface. On the left sidebar, the 'Document Types' filter is highlighted with a red box. It lists the following categories and their counts:

Document Type	Count
Article	207,395
Review Article	16,489
Proceeding Paper	12,330
Meeting Abstract	1,815
Early Access	1,739

Below this, the 'Researcher Profiles' section is visible, showing a list of researcher names and their citation counts:

Researcher Profile	Count
Dincer, Ibrahim	658
guo, liejin	468
shao, zongping	430
Zhang, Yang-huan	391
San Ping Jiang	376

The main content area shows search results for 'green hydrogen production'. The first result is 'Design, fabrication, and performance assessment for green hydrogen production unit' by El-Aassar, AHM; Mahmoud, FE; (,); Isawi, H, published in the International Journal of Hydrogen Energy, with 53 references. The second result is 'Hydropower for green hydrogen production in Turkey' by Karayel, GK; Javani, N and Dincer, I, published in the International Journal of Hydrogen Energy, with 54 citations. The third result is 'Pilot-scale hydrogen energy utilization system demonstration: A commercial' with 15 citations.

*Nota.* El filtrado por tipo de documento en Web of Science permite seleccionar únicamente aquellos resultados que correspondan a una clase específica de publicación, como artículos originales, revisiones, actas de congresos, capítulos de libro, entre otros. Esta función es clave para enfocar la búsqueda según los objetivos del trabajo académico; por ejemplo, si se requiere evidencia empírica reciente, los artículos científicos serán más útiles, mientras que las revisiones ofrecen una visión general del estado del arte en un tema determinado.

## Figura 7

*Filtro por perfiles de investigación*

The screenshot shows a search results page on Web of Science. On the left, there is a sidebar with various filters. A red box highlights the 'Researcher Profiles' section, which lists several authors with their respective citation counts: Dincer, Ibrahim (658), guo, liejin (468), shao, zongping (430), Zhang, Yang-huan (391), and San Ping JIANG (376). The main content area displays search results for 'green hydrogen'. The first result is 'Design, fabrication, and performance assessment for green hydrogen production unit' by El-Aassar, AHM; Mahmoud, FE; [..]; Isawi, H, published in 'INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY' on Sep 26 2024, with 53 references. The second result is 'Hydropower for green hydrogen production in Turkey' by Karayel, GK; Javani, N and Dincer, I, published in 'INTERNATIONAL JOURNAL OF HYDROGEN ENERGY' on Jul 15 2023, with 54 citations and 54 references. The third result is 'Pilot-scale hydrogen energy utilization system demonstration: A commercial' with 15 citations. A purple question mark icon with the number '21' is visible in the bottom right corner of the search results area.

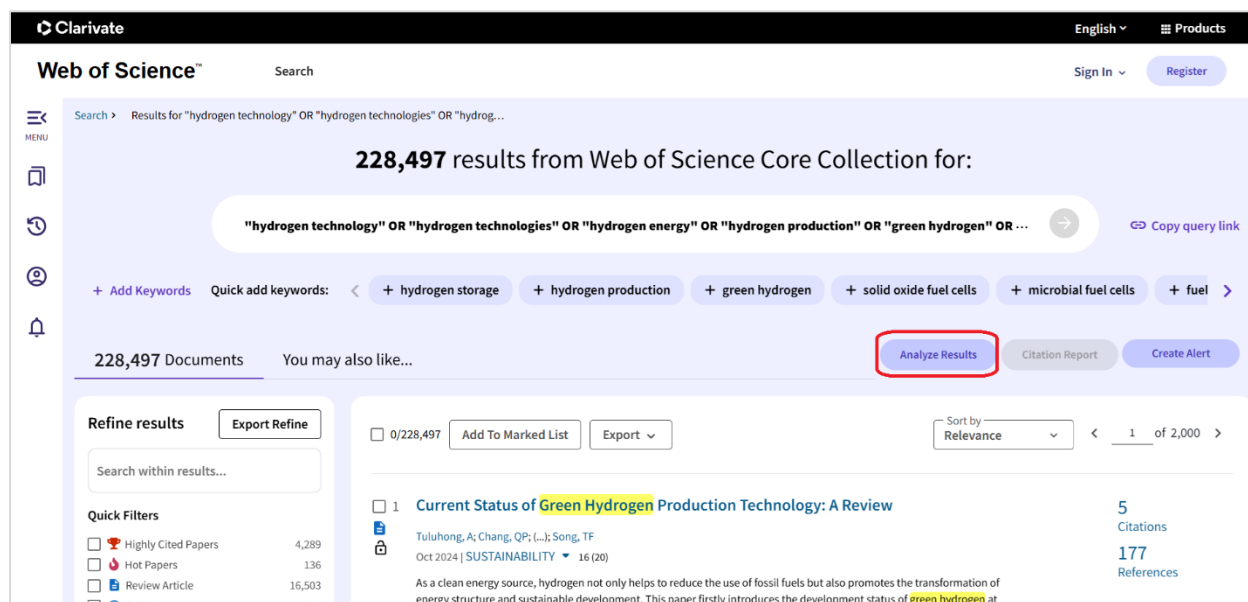
*Nota.* El filtrado por perfiles de investigadores permite identificar y seleccionar publicaciones asociadas a autores específicos, ayudando a reconocer líderes de opinión, expertos en un tema y redes de colaboración académica. Esta herramienta es útil para analizar la producción científica de un investigador en particular, evitar confusiones con autores de nombres similares y enfocar la revisión en trabajos de referentes clave dentro del área de estudio.

### 5.1.3 Análisis de resultados

La función de análisis de resultados en Web of Science permite examinar de manera cuantitativa los datos obtenidos tras una búsqueda, facilitando la visualización de patrones y tendencias dentro del conjunto de publicaciones. A través de gráficos y tablas interactivas, se pueden identificar los autores más productivos, las instituciones líderes, los países con mayor contribución científica, las revistas más activas y las áreas temáticas predominantes. Este análisis es especialmente valioso en estudios bibliométricos y revisiones sistemáticas, ya que brinda una visión general del comportamiento de la literatura en un campo específico.

**Figura 8**

*Acceso a la herramienta de análisis de resultados en Web of Science*

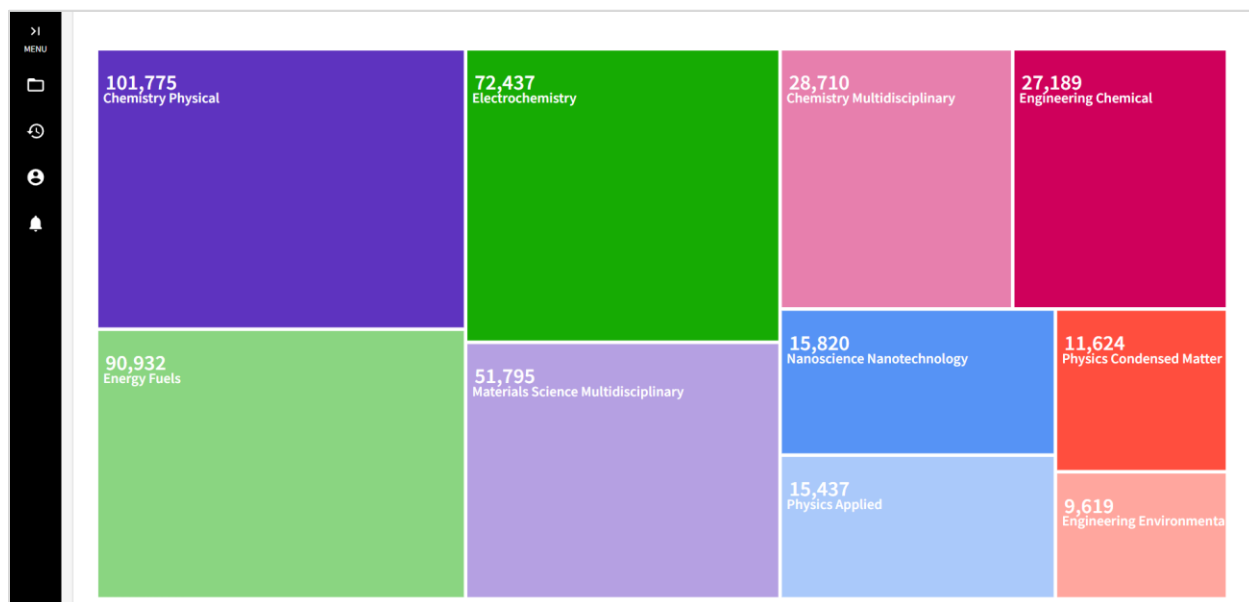


The screenshot displays the Web of Science search results page. At the top, the search query is: "hydrogen technology" OR "hydrogen technologies" OR "hydrogen energy" OR "hydrogen production" OR "green hydrogen" OR ... The results show 228,497 documents. A red box highlights the "Analyze Results" button. Below the search bar, there are quick filters for "hydrogen storage", "hydrogen production", "green hydrogen", "solid oxide fuel cells", "microbial fuel cells", and "fuel". The "Analyze Results" button is located in the top right corner of the results area. The main results list shows the first result: "Current Status of Green Hydrogen Production Technology: A Review" by Tuluohong, A; Chang, QP; (L.); Song, TF, published in SUSTAINABILITY in October 2024. It has 5 citations and 177 references.

*Nota.* Imagen que muestra la ubicación de la herramienta de análisis de resultados en Web of Science, la cual permite visualizar y explorar de forma gráfica y cuantitativa los datos obtenidos en una búsqueda, facilitando la identificación de tendencias, autores destacados, revistas más citadas y otros indicadores bibliométricos.

## **Figura 9**

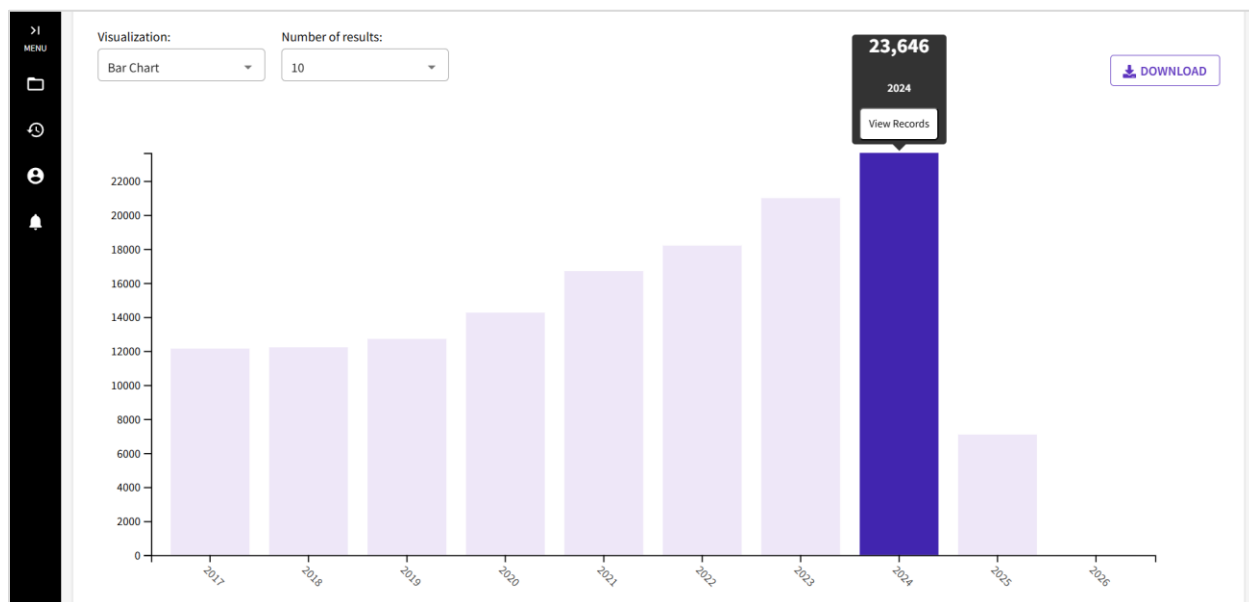
*Análisis de resultado por tipo de documentos de la Web of Science*



*Nota.* El análisis de resultados por tipo de documento en Web of Science permite conocer la distribución de las publicaciones según su formato, como artículos originales, revisiones, actas de congresos, editoriales, entre otros. Esta función es útil para identificar el enfoque predominante de la literatura en un campo determinado, ya que permite saber si la mayoría de los trabajos son investigaciones empíricas, revisiones del estado del arte o reportes técnicos. Además, ayuda a seleccionar con mayor precisión las fuentes más adecuadas para los objetivos de la tesis.

### **Figura 10**

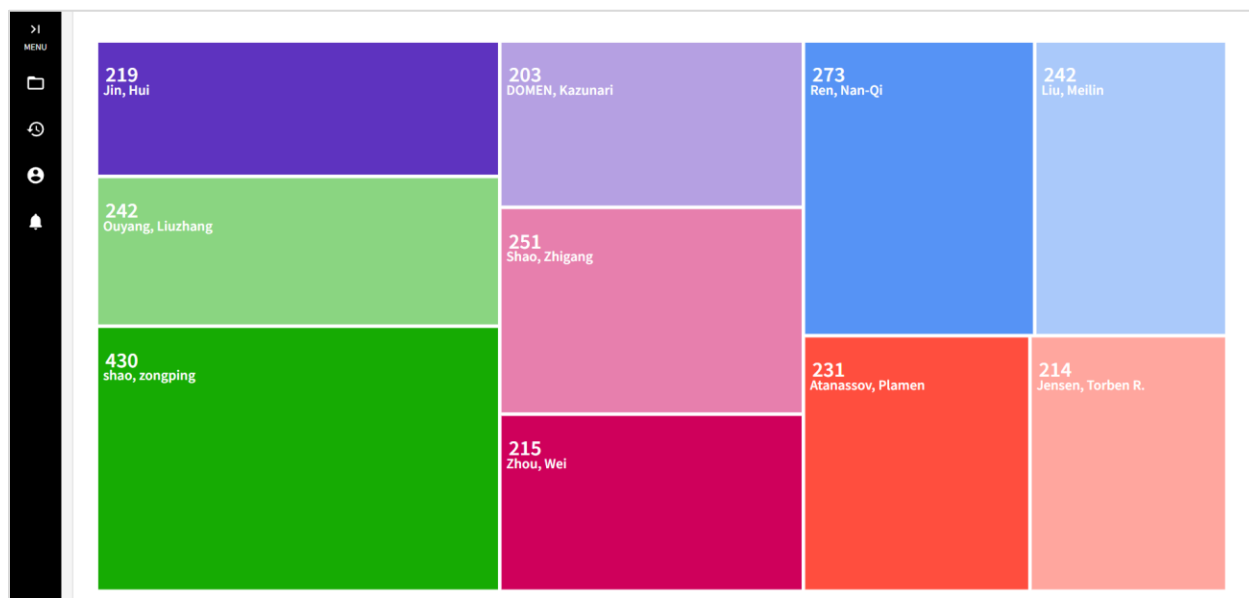
*Análisis de resultado por publicaciones por año de la Web of Science*



*Nota.* El análisis de publicaciones por año en Web of Science permite visualizar la evolución temporal de la producción científica sobre un tema específico. Esta herramienta muestra cuántos documentos se han publicado en cada año dentro del rango seleccionado, lo cual es útil para identificar tendencias de crecimiento, detectar periodos de mayor actividad investigativa y comprender cómo ha avanzado el interés académico en el área de estudio a lo largo del tiempo.

### **Figura 11**

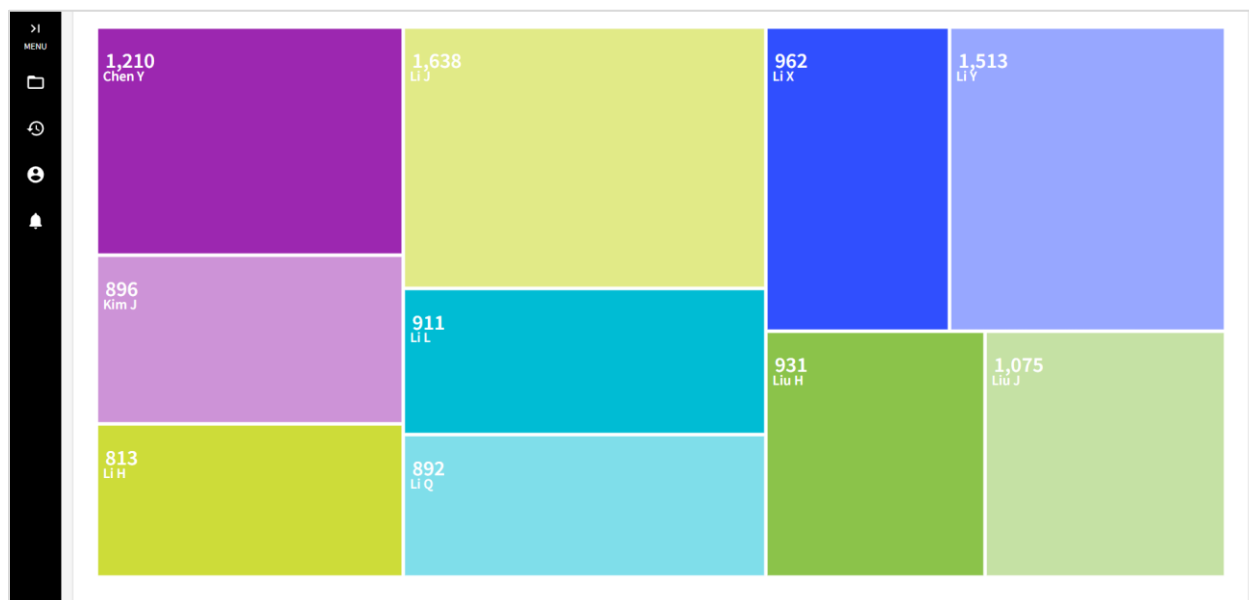
*Análisis de resultado por perfil del investigador de la Web of Science*



*Nota.* El análisis de resultados por perfil del investigador permite identificar a los autores más productivos dentro de un área temática específica, mostrando cuántas publicaciones tiene cada uno en los resultados obtenidos. Esta herramienta es clave para reconocer líderes de investigación, posibles colaboradores, y expertos que marcan tendencia en el campo de estudio. También facilita el estudio de la autoría científica y la construcción de redes académicas en análisis bibliométricos.

### Figura 12

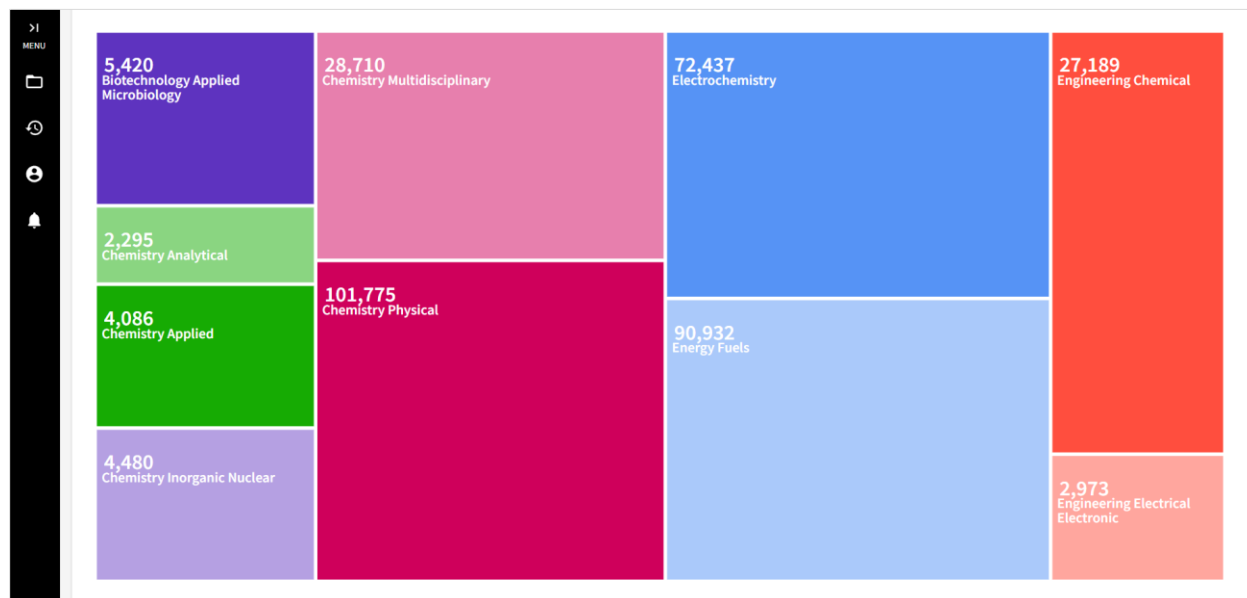
*Análisis de resultados por autores de la Web of Science*



*Nota.* El análisis de resultados por autores permite identificar cuáles son los investigadores con mayor número de publicaciones dentro del conjunto de resultados obtenidos. Esta función ofrece una visión clara sobre quiénes son los principales contribuyentes en un campo de estudio, facilitando la detección de expertos clave, líneas de investigación consolidadas y posibles referentes académicos para consultar o citar en una tesis. Además, es una herramienta útil para explorar patrones de autoría y colaboraciones científicas.

### **Figura 13**

*Análisis de resultados por categorías de la Web of Science*



*Nota.* El análisis de resultados por categorías de la Web of Science permite clasificar las publicaciones según las disciplinas científicas en las que han sido indexadas, como energía, ingeniería, química, medio ambiente, entre otras. Esta herramienta facilita la identificación de las áreas del conocimiento donde se concentra la investigación sobre un tema específico, lo que resulta especialmente útil para comprender el enfoque multidisciplinario de un campo, delimitar el alcance temático de la tesis y detectar posibles áreas de interés para investigaciones futuras.

#### **5.1.4 Análisis de un documento de web of science**

Se realiza un análisis de un documento de que tiene como nombre: "Current Status of Green Hydrogen Production Technology: A Review" de los autores: Ayiguzhali Tuluhong, Qingpu Chang, Lirong Xie, Zhisen Xu and Tengfei Song y con Fecha de publicación: 19 de octubre de 2024.

**5.1.4.1 Current status of green hydrogen production technology.** El artículo es una revisión exhaustiva sobre el estado actual de la tecnología de producción de hidrógeno verde, enfocándose en su papel como vector energético clave para la transición hacia sistemas energéticos

sostenibles y bajos en carbono. Se abordan tanto el desarrollo global como los avances tecnológicos, políticas públicas, ventajas, limitaciones, retos y perspectivas futuras del hidrógeno verde.

**5.1.4.2 La Importancia del Hidrógeno Verde.** Están la descarbonización global puesto que el hidrógeno verde es esencial para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el cambio climático, ya que su producción y uso generan emisiones de gases de efecto invernadero casi nulas así como la flexibilidad energética que permite almacenar y transportar energía renovable, ayudando a balancear la oferta y demanda en sistemas eléctricos con alta penetración de fuentes intermitentes (solar/eólica) y sus aplicaciones son clave en sectores difíciles de electrificar como la industria pesada, transporte de larga distancia y almacenamiento estacional de energía.

**5.1.4.3 Panorama Global y Políticas Públicas.** China encabeza la capacidad instalada de energías renovables (más del 43% mundial), seguida de EE. UU. e India han implementado planes estratégicos para el desarrollo de la industria del hidrógeno, con metas claras para 2025, 2030 y 2035, incluyendo la reducción de emisiones y el aumento de la producción de hidrógeno a partir de fuentes renovables.

En 2023, China añadió 305 GW de nueva capacidad renovable, representando la mitad del crecimiento mundial, lo que respalda la expansión del hidrógeno verde y Compromisos internacionales: El hidrógeno verde es parte de los objetivos de neutralidad de carbono (Net Zero) y transición energética en múltiples países.

## **Tabla 2**

*La tecnología en relación con el principio, ventajas y sus limitaciones*

<b>Tecnología</b>	<b>Principio</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Limitaciones</b>
Electrólisis alcalina (AEL)	Disociación de agua en H <sub>2</sub> y O <sub>2</sub> usando corriente eléctrica	Madura, bajo costo, escalable	Menor eficiencia, respuesta lenta
Electrólisis PEM (membrana de intercambio de protones)	Similar a AEL, pero con membrana polimérica	Alta eficiencia, respuesta rápida	Costo elevado, uso de metales raros
Electrólisis de óxido sólido (SOEC)	Opera a alta temperatura, usa vapor de agua	Alta eficiencia, integración con calor	Complejidad, durabilidad limitada
Fotocatálisis y bioproducción	Uso de luz o microorganismos para dividir agua	Potencial a largo plazo, baja huella	Poco desarrolladas, baja eficiencia

*Nota.* La tabla muestra un resumen de diversas tecnologías utilizadas en la producción de hidrógeno verde, considerando su principio de funcionamiento, ventajas y principales limitaciones. Este análisis permite identificar las oportunidades y desafíos asociados a cada alternativa tecnológica, brindando un panorama general sobre su grado de desarrollo, eficiencia, viabilidad económica y potencial de integración en sistemas energéticos sostenibles.

**5.1.4.4 Tecnologías de Producción de Hidrógeno Verde.** La revisión compara y analiza las principales tecnologías de producción de hidrógeno verde, destacando sus ventajas y limitaciones como la tendencia futura que la electrólisis del agua alimentada por energías renovables es la vía más prometedora para la producción masiva de hidrógeno verde y la comparación global con el hidrógeno verde compite con el azul (de gas natural con captura de CO<sub>2</sub>) y el gris (de combustibles fósiles sin captura), siendo el verde el más limpio pero actualmente el más costoso.

**5.1.4.5 Ventajas y Retos de la Producción de Hidrógeno Verde.** Dentro de las ventajas están que hay cero emisiones en producción y uso lo cual permite aprovechar excedentes de energías renovables y puede integrarse en infraestructuras existentes (redes de gas, transporte).

Y como retos están que tiene un costo elevado ya que la electrólisis aún es más cara que métodos tradicionales, aunque se espera una reducción significativa con el abaratamiento de renovables y economías de escala; Mejorar la eficiencia energética de los electrolizadores y reducir el uso de materiales críticos (platino, iridio). La infraestructura tiene la necesidad de desarrollar sistemas de almacenamiento, transporte y distribución seguros y eficientes y requiere de agua pura y acceso a energía renovable abundante, lo que puede ser limitante en ciertas regiones.

**5.1.4. 5 Perspectivas y Aplicaciones Futuras Desarrollo tecnológico.** Se espera una rápida mejora en la eficiencia y reducción de costos de los electrolizadores, así como la adopción de nuevas tecnologías (fotocatálisis, bioproducción). También la expansión de mercados ya que el hidrógeno verde será fundamental en la descarbonización de industrias como la siderurgia, química, refinerías y transporte pesado y las políticas y regulación como sabemos el éxito dependerá de incentivos, normativas claras y colaboración internacional para estandarizar certificaciones y fomentar la inversión.

El hidrógeno verde se perfila como un pilar central para la transición energética global, con avances tecnológicos y políticas cada vez más ambiciosas que impulsan su desarrollo. Si bien enfrenta retos significativos en costos, eficiencia e infraestructura, su potencial para descarbonizar sectores clave y estabilizar sistemas energéticos lo convierte en una de las soluciones más prometedoras para alcanzar los objetivos.

## 5.2 Análisis de la publicación científica Scopus

Scopus es una base de datos bibliográfica que recopila resúmenes, citas y artículos académicos de diversas disciplinas, facilitando la búsqueda, análisis y seguimiento de la producción científica a nivel global.

### 5.2.1 Material de análisis y Origen

La base de datos de Web of Science recoge publicaciones de autores que pueden estar exclusivamente en esta plataforma o en otras similares. Esta diversidad de fuentes contribuye a enriquecer la información disponible, garantizando su calidad y variedad.

#### Tabla 3

*Criterios de selección y descarte*

SE INCLUYEN	SE EXCLUYEN
Se han considerado documentos completos o resúmenes de artículos publicados en revistas científicas indexadas en Scopus, así como en la principal base de datos de Web of Science, que aborden el tema de estudio y hayan sido publicados en el período comprendido entre 2000 y 2024.	Es crucial evitar la inclusión de documentos no relacionados con el tema de interés, así como aquellos que sean duplicados o redundantes, o que estén publicados en revistas no reconocidas o de baja calidad.

*Nota.* Se detalla los requisitos para seleccionar los artículos relevantes para esta investigación, especificando qué características deben tener los estudios para ser incluidos y cuáles los descalifican. Esta clasificación asegura que solo los artículos pertinentes sean considerados en el análisis.

### 5.2.2 Manual de uso de Scopus

En primer lugar, se accede a la plataforma de la Biblioteca de la Universidad Industrial de Santander. Desde allí, se ingresa a la sección de herramientas y, mediante el acceso institucional, se redirige al sitio oficial de Scopus.

#### Figura 14

*Acceso a recursos bibliográficos y bases de datos de la Universidad Industrial de Santander*  
*Scopus*



The screenshot displays the library's homepage with the following elements:

- Header:** Universidad Industrial de Santander logo and name, and the text "BIBLIOTECA BASES DE DATOS". A "cerrar sesión" link is visible in the top right.
- Navigation Menu:** A horizontal menu with tabs for "Sistema de Consultas UIS", "Multidisciplinarias", "Básicas", "Aplicadas", "Sociales y Humanas", "Salud", "Herramientas" (selected), "eBooks", "Normas", and "Acceso Abierto".
- NewsBank Section:** Promotes a new collection of news articles, mentioning over 7,000 national and international newspapers. It includes a link to "Acceso a periódico EL TIEMPO".
- Scopus Section (highlighted):** Features the Scopus logo and describes it as a tool for bibliometric studies and scientific production evaluation. It notes that it includes author profiles, institutional profiles, citation tracking, and journal analysis. It also states that it encompasses a multidisciplinary collection of summaries, references, and indices of scientific, technical, and medical literature.
- ProQuest RefWorks Section:** Describes a tool for managing bibliographic references online, aimed at simplifying workflow and maximizing productivity in research.

*Nota.* Figura que muestra las herramientas de acceso a recursos bibliográficos y bases de datos disponibles para la comunidad universitaria, incluyendo el enlace directo a Scopus otros recursos académicos especializados, accesibles a través del portal institucional.

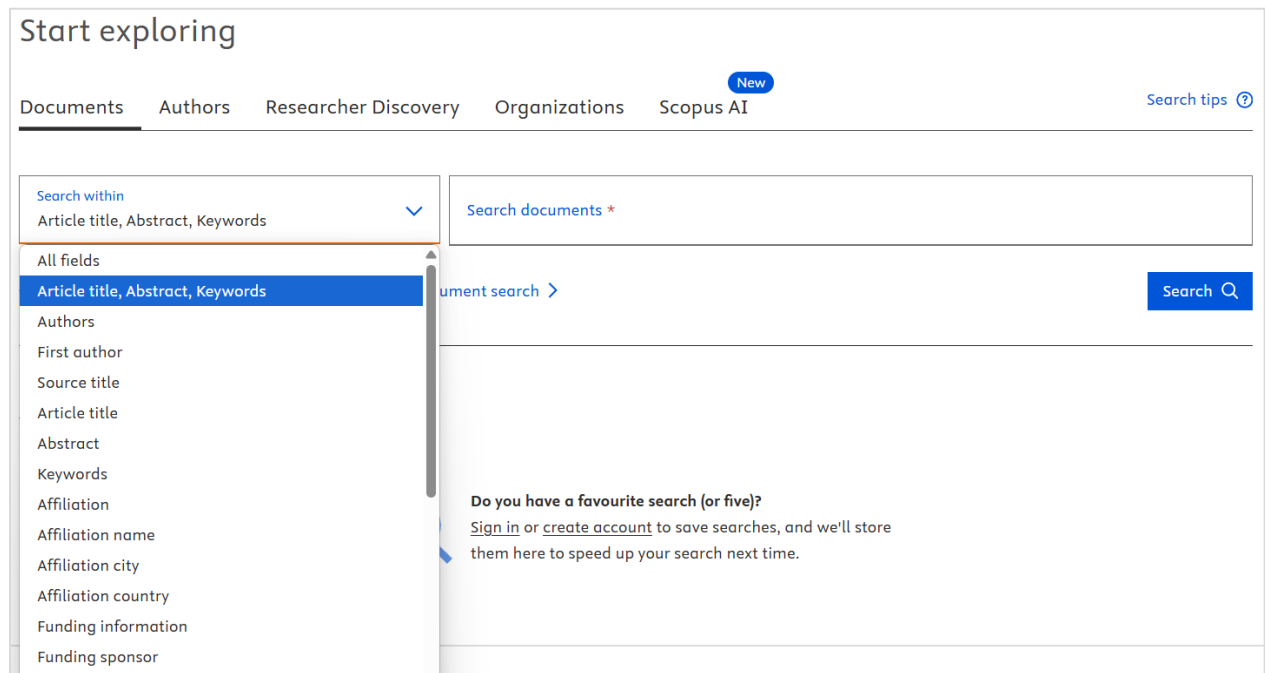
Una vez en el portal [www.scopus.com](http://www.scopus.com), se accede directamente a sus funcionalidades gracias a la vinculación con la universidad, sin necesidad de crear una cuenta personal. Entre las herramientas más destacadas, se encuentra la posibilidad de crear alertas de búsqueda, seguir a autores específicos y consultar publicaciones académicas relevantes en el área de estudio. Asimismo, la plataforma permite guardar búsquedas para editarlas, actualizarlas o retomarlas en cualquier momento, lo que facilita la gestión de la información y fortalece el desarrollo de la investigación.

### ***5.2.3 Realizar la búsqueda***

Para iniciar la búsqueda de información en la plataforma, dirigirse a la sección “Search” (Buscar), ubicada en la parte superior del sitio. Allí se ingresaron las palabras clave *"hydrogen technology" OR "hydrogen technologies" OR "hydrogen energy" OR "hydrogen production" OR "green hydrogen" OR "fuel cells" OR "hydrogen storage"* en la barra de búsqueda, con el objetivo de localizar publicaciones científicas relacionadas con los avances tecnológicos en el campo del hidrógeno en el mundo. Esta herramienta permite realizar búsquedas precisas y acceder a una amplia variedad de artículos, conferencias y documentos académicos relevantes, lo que resulta fundamental para desarrollar una investigación sólida y actualizada.

### **Figura 15**

*Interfaz de búsqueda avanzada en Scopus*

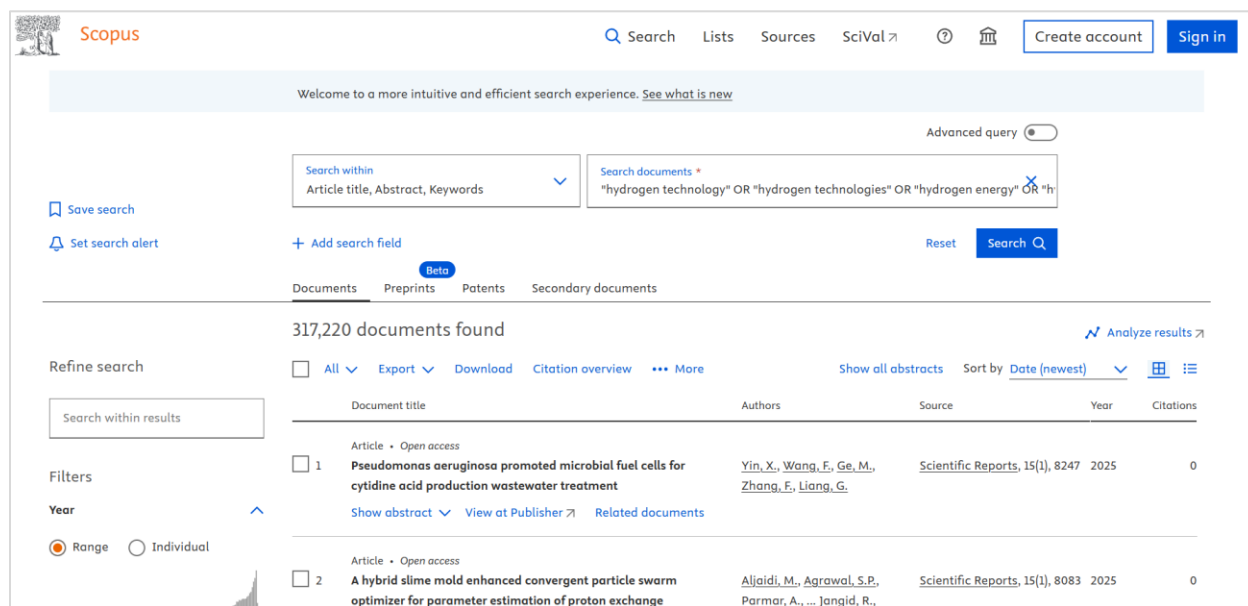


*Nota.* La figura muestra una ventana de búsqueda académica en línea, donde se permite seleccionar criterios como título de artículo, resumen, palabras clave y autores para refinar los resultados. Debajo, se encuentra un fragmento de un documento en español que explica la importancia de definir palabras clave específicas y relevantes, así como el uso de operadores booleanos para optimizar las búsquedas en bases de datos académicas.

**5.2.3.1 Definición de palabras clave.** Se procede a la introducción de las palabras clave relacionadas con el tema de estudio. Es recomendable emplear términos específicos y relevantes, así como operadores booleanos para afinar los resultados.

**AND** para combinar conceptos; **OR** para incluir sinónimos o términos relacionados (ej. "hydrogen technology" OR "hydrogen technologies" OR "hydrogen energy" OR "hydrogen production" OR "green hydrogen" OR "fuel cells" OR "hydrogen storage") y **NOT** para excluir conceptos no deseados.

**Figura 16**

*Búsqueda académica en Scopus*

The screenshot displays the Scopus search interface. At the top, there is a search bar with the query: "hydrogen technology" OR "hydrogen technologies" OR "hydrogen energy" OR "h". The search results show 317,220 documents found. The interface includes a navigation menu with options like Documents, Preprints, Patents, and Secondary documents. A 'Refine search' section on the left allows filtering by year (Range or Individual) and other criteria. The main results table lists two articles:

Document title	Authors	Source	Year	Citations
1 Pseudomonas aeruginosa promoted microbial fuel cells for cytidine acid production wastewater treatment	Yin, X., Wang, F., Ge, M., Zhang, F., Liang, G.	Scientific Reports, 15(1), 8247	2025	0
2 A hybrid slime mold enhanced convergent particle swarm optimizer for parameter estimation of proton exchange	Aljaidi, M., Agrawal, S.P., Parmar, A., ... Jangid, R.	Scientific Reports, 15(1), 8083	2025	0

*Nota.* La captura muestra el proceso de búsqueda académica en la base de datos Scopus, como parte de un análisis sobre proyectos de hidrógeno apoyados con herramientas TIC. Se visualiza la interfaz de resultados, indicando la cantidad de documentos encontrados y las opciones disponibles para filtrar y organizar la información científica relevante.

**5.2.2.3 Aplicación de filtros.** Scopus permite restringir la búsqueda mediante diversos filtros, tales como: Rango de años de publicación. Área temática (energía, ingeniería, química, entre otras). Tipo de documento (artículo, revisión, conferencia, etc.). Idioma de publicación. Afiliación institucional o país del autor.

**Figura 17**

*Filtrado por años en la búsqueda realizada en Scopus*

The screenshot displays a Scopus search interface. At the top, there is a search bar with the query: "hydrogen technology" OR "hydrogen technologies" OR "hydrogen energy" OR "h...". Below the search bar, there are options to "Save search", "Set search alert", and "Add search field". The search results are categorized into "Documents", "Preprints", "Patents", and "Secondary documents". A total of 305,437 documents were found. The results are sorted by "Date (newest)".

On the left side, there is a "Refine search" section with a "Search within results" input. Below it, a "Filters" panel is visible, showing a "Year" filter set to "Range" from 2000 to 2025. A histogram shows the distribution of documents over time.

The search results table includes the following entries:

Document title	Authors	Source	Year	Citations
1 Pseudomonas aeruginosa promoted microbial fuel cells for cytidine acid production wastewater treatment	Yin, X., Wang, F., Ge, M., Zhang, F., Liang, G.	Scientific Reports, 15(1), 8247	2025	0
2 A hybrid slime mold enhanced convergent particle swarm optimizer for parameter estimation of proton exchange membrane fuel cell	Aljaidi, M., Agrawal, S.P., Parmar, A., ... Jangid, R., Khishe, M.	Scientific Reports, 15(1), 8083	2025	0

*Nota.* Se muestra la opción de refinar los resultados de búsqueda en Scopus mediante la selección de un rango de años, permitiendo acotar la información a publicaciones más recientes o dentro de un periodo específico.

**Figura 18**

*Filtrado por áreas en la búsqueda realizada en Scopus*

The screenshot displays a Scopus search interface with subject area filtering. The "Filters" panel shows "Subject area" with two selected categories: "Limited to Energy" (129,867) and "Limited to Engineering" (106,845). Other subject areas include Physics and Astronomy (51,595), Materials Science (45,743), Chemistry (38,447), Environmental Science (25,180), and Chemical Engineering (24,886).

The search results table includes the following entries:

Document title	Authors	Source	Year	Citations
Physics to Artificial Intelligence	Wang, Y.	Reviews, 8(1), 6		
2 V-Ti-Based Solid Solution Alloys for Solid-State Hydrogen Storage	Shen, S., Li, Y., Ouyang, L., ... Zhu, M., Liu, Z.	Nano-Micro Letters, 17(1), 175	2025	0
3 Enhanced intellectual (PMU) controller with stator core geometry optimized motor for electric drive   Enhanced Intellectual (PMU) Controller mit für die Statorkernegeometrie optimiertem Motor für Elektroantrieb	Prabhakaran, J., Thirumoorthi, P.	Forschung im Ingenieurwesen/Engineering Research, 89(1), 25	2025	0
4 Two-stage robust optimization of hydrogen microgrid in plateau tourist cities—taking Yunnan Lijiang as an example	Xu, R., Hong, Z., Wang, G., ... Zhang, L., Zhu, X.	Carbon Neutrality, 4(1), 7	2025	0

*Nota.* Se presenta el filtrado por áreas temáticas, donde es posible seleccionar las disciplinas o campos del conocimiento más relevantes para el tema de investigación, facilitando un enfoque más especializado.

## Figura 19

*Filtrado por tipo de documento en la búsqueda realizada en Scopus*

The screenshot displays the Scopus search interface with filters on the left and search results on the right. The 'Document type' filter is highlighted in yellow, showing 'Limited to Article' with 131,833 results. Other filters include 'Environmental Science' (19,426) and 'Chemical Engineering' (19,396). The search results list four articles, all from 'Nano-Micro Letters' in 2025.

Document type	Count
Environmental Science	19,426
Chemical Engineering	19,396
Limited to Article	131,833

Document type	Count
English	125,118
Chinese	5,011
Japanese	650
German	459
Korean	302

Keyword	Count
Hydrogen Production	33,239
Fuel Cells	27,526
Hydrogen	23,816
Hydrogen Storage	17,498
Fuel Cell	16,770

Document type	Count
Article · Open access	0
Article · Open access	0
Article · Open access	0
Article · Open access	1
Article · Open access	0

Document type	Count
Article · Open access	0
Article · Open access	0
Article · Open access	0
Article · Open access	1
Article · Open access	0

*Nota.* La imagen ilustra cómo restringir los resultados según el tipo de documento, como artículos de revistas, revisiones, conferencias, capítulos de libro, entre otros, según las necesidades del estudio.

## Figura 20

*Filtrado por otros tipos de filtros en la búsqueda realizada en Scopus*

The screenshot shows a Scopus search results page with several filters on the left and a list of search results on the right. The filters include Language (Limited to English, Japanese, Polish, French, Chinese, German) and Keyword (Hydrogen Production, Fuel Cells, Hydrogen, Hydrogen Storage, Fuel Cell). The search results list includes:

Item	Title	Authors	Journal	Year	Citations
	Oxide/Iridium-Tantalum Oxide Bi-Layer Nanostructure with Dynamic Replenishment of Active Sites	... Liu, X., Lu, Z.		2025	165
6	Scalable Electrocatalytic Urea Wastewater Treatment Coupled with Hydrogen Production by Regulating Adsorption Behavior of Urea Molecule	Yang, C., Pang, H., Li, X., ... Wang, D., Xu, B.	Nano-Micro Letters, 17(1), 159	2025	0
7	Tailoring the Reversible Phase Transition of Perovskite Nanofiber Electrodes for High-Performance and Durable Reversible Solid Oxide Cells	Yin, C., Yang, J., Feng, J., ... Wu, K., Li, J.	Nano-Micro Letters, 17(1), 150	2025	1
8	Generating H <sub>2</sub> during the CO <sub>2</sub> sequestration in basalt formations	Huang, L., Liu, Q., Steffel, C., ... Zhang, Y., Tang, X.	Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 11(1), 4	2025	0
9	A catalyst-coated diaphragm assembly to improve the performance and energy efficiency of alkaline water electrolyzers	Xu, Z., Liu, Y., Cheng, X., ... Li, W., He, G.	Communications Engineering, 4(1), 9	2025	0

*Nota.* Se muestran filtros adicionales disponibles en Scopus, como idioma de publicación, fuente, patrocinadores de financiamiento, entre otros, para personalizar aún más los resultados de búsqueda.

## Figura 21

*Filtrado por países en la búsqueda realizada en Scopus*

The screenshot shows a Scopus search results page with a 'Filter by country/territory' modal open. The modal lists the following countries and their corresponding number of results:

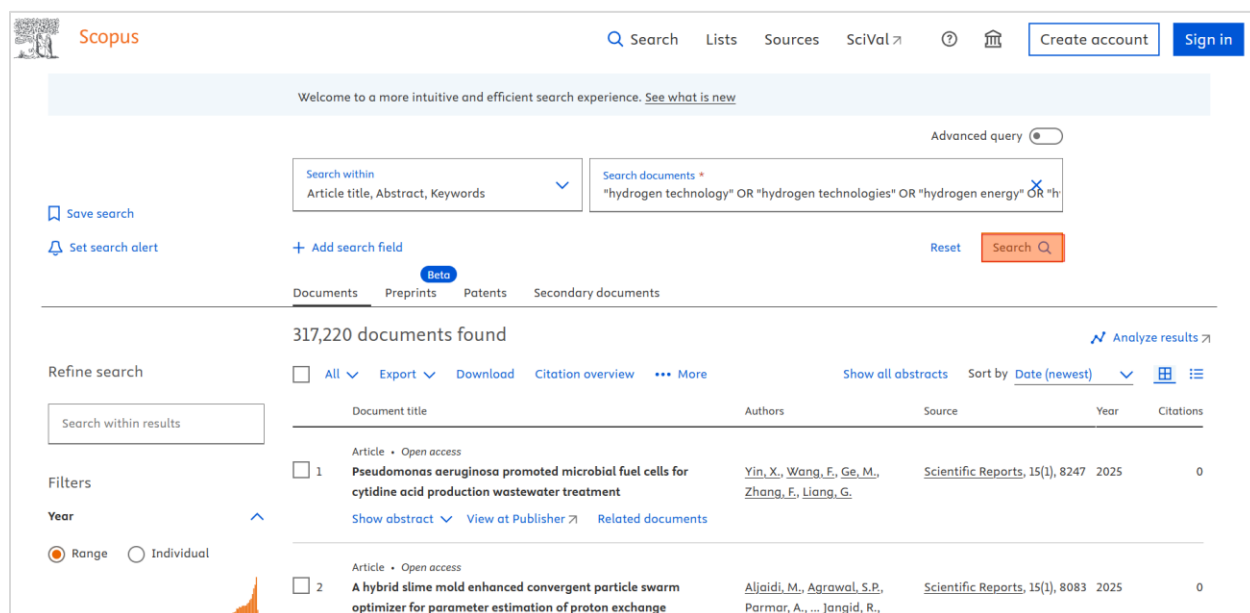
Country/Territory	Number of Results
China	43,537
United States	16,403
India	8,550
South Korea	8,491
Japan	6,917
Germany	5,968
United Kingdom	5,388
Canada	5,115
Italy	4,468
Iran	4,285
France	3,938
Taiwan	3,396
Spain	3,341
Turkey	3,047
Australia	2,997

*Nota.* La captura evidencia la opción de filtrar los documentos según el país de origen de las publicaciones o de las instituciones afiliadas, permitiendo analizar la producción científica por regiones o naciones específicas.

**5.2.2.4 Ejecución de la búsqueda.** Una vez establecidos los criterios de búsqueda (palabras clave, autores, áreas temáticas, entre otros), se procede a ejecutar la consulta haciendo clic en el botón “Search” y Scopus generará un listado de resultados que incluye los documentos que coinciden con los parámetros definidos. Esta lista puede ser organizada de diferentes maneras, según las necesidades del usuario: por relevancia del contenido, cantidad de citas recibidas, fecha de publicación, o incluso por autor o fuente. Esta funcionalidad permite una navegación eficiente y enfocada hacia los documentos más pertinentes para el análisis o investigación en curso.

## Figura 22

*Realización de la búsqueda académica con la opción search*



The screenshot displays the Scopus search results page. At the top, the Scopus logo is on the left, and navigation links for Search, Lists, Sources, and SciVal are in the center. On the right, there are buttons for 'Create account' and 'Sign in'. Below the navigation bar, a welcome message reads: 'Welcome to a more intuitive and efficient search experience. See what is new'. The search bar contains the query: 'hydrogen technology' OR 'hydrogen technologies' OR 'hydrogen energy' OR 'h'. The search results are displayed in a table with columns for Document title, Authors, Source, Year, and Citations. Two results are visible:

Document title	Authors	Source	Year	Citations
1 Pseudomonas aeruginosa promoted microbial fuel cells for cytidine acid production wastewater treatment	Yin, X., Wang, F., Ge, M., Zhang, F., Liang, G.	Scientific Reports, 15(1), 8247	2025	0
2 A hybrid slime mold enhanced convergent particle swarm optimizer for parameter estimation of proton exchange	Aljaidi, M., Agrawal, S.P., Parmar, A., ... Jangid, R.	Scientific Reports, 15(1), 8083	2025	0

*Nota.* La figura muestra el momento en que se lleva a cabo una búsqueda académica en la base de datos, señalando la ubicación del botón Search, que permite ejecutar la consulta y obtener los resultados de acuerdo con los criterios establecidos.

#### **5.2.4 Análisis de Resultados**

Una vez obtenidos los resultados de la búsqueda en Scopus, la plataforma ofrece una herramienta útil denominada *Analyze search results*, que permite realizar un análisis detallado de la producción científica relacionada con el tema consultado. Esta función genera representaciones gráficas e informes que facilitan la identificación de tendencias y patrones relevantes dentro del conjunto de documentos recuperados.

A través de esta herramienta, es posible visualizar los autores más prolíficos, las instituciones con mayor volumen de publicaciones, los países más activos en el área de estudio, así como las revistas científicas que concentran la mayor cantidad de artículos. Además, se puede observar la evolución temporal de las publicaciones, lo que permite identificar picos de producción o momentos clave en el desarrollo del tema investigado. Otro aspecto que se puede analizar es la distribución por áreas temáticas, lo cual contribuye a entender cómo se clasifica la investigación en diferentes campos del conocimiento.

El análisis de resultados en Scopus no solo proporciona una visión general del panorama científico, sino que también permite al investigador enfocar su estudio en actores clave, fuentes relevantes y posibles vacíos de investigación. Esta información puede ser exportada para su procesamiento en herramientas bibliométricas especializadas, como VOSviewer o Bibliometrix, que permiten realizar mapas de co-ocurrencia, análisis de redes de colaboración y visualización avanzada de datos científicos.

#### **Figura 23**

### Herramienta de Análisis de Publicaciones en Scopus

Avance query

Search within: Article title, Abstract, Keywords

Search documents: "hydrogen technology" OR "hydrogen technologies" OR "hydrogen energy" OR "h"

Save search | Set search alert | + Add search field | Reset | Search

Documents | Preprints | Patents | Secondary documents

317,220 documents found

Analyze results

Refine search

Search within results

Filters

Year

Range | Individual

2000 - 2025

Document title	Authors	Source	Year	Citations
1 Pseudomonas aeruginosa promoted microbial fuel cells for cytidine acid production wastewater treatment	Yin, X., Wang, F., Ge, M., Zhang, F., Liang, G.	Scientific Reports, 15(1), 8247	2025	0
2 A hybrid slime mold enhanced convergent particle swarm optimizer for parameter estimation of proton exchange membrane fuel cell	Aljaidi, M., Agrawal, S.P., Parmar, A., ... Jangid, R., Khishe, M.	Scientific Reports, 15(1), 8083	2025	0
3 Oxygen reduction kinetics of high performance	Sumi, H., Watanabe, K.	Communications Chemistry, 2025	2025	0

*Nota.* La figura muestra la ubicación del botón de "Análisis de resultados" en la plataforma Scopus, una herramienta que permite examinar de manera gráfica y resumida los documentos encontrados en una búsqueda.

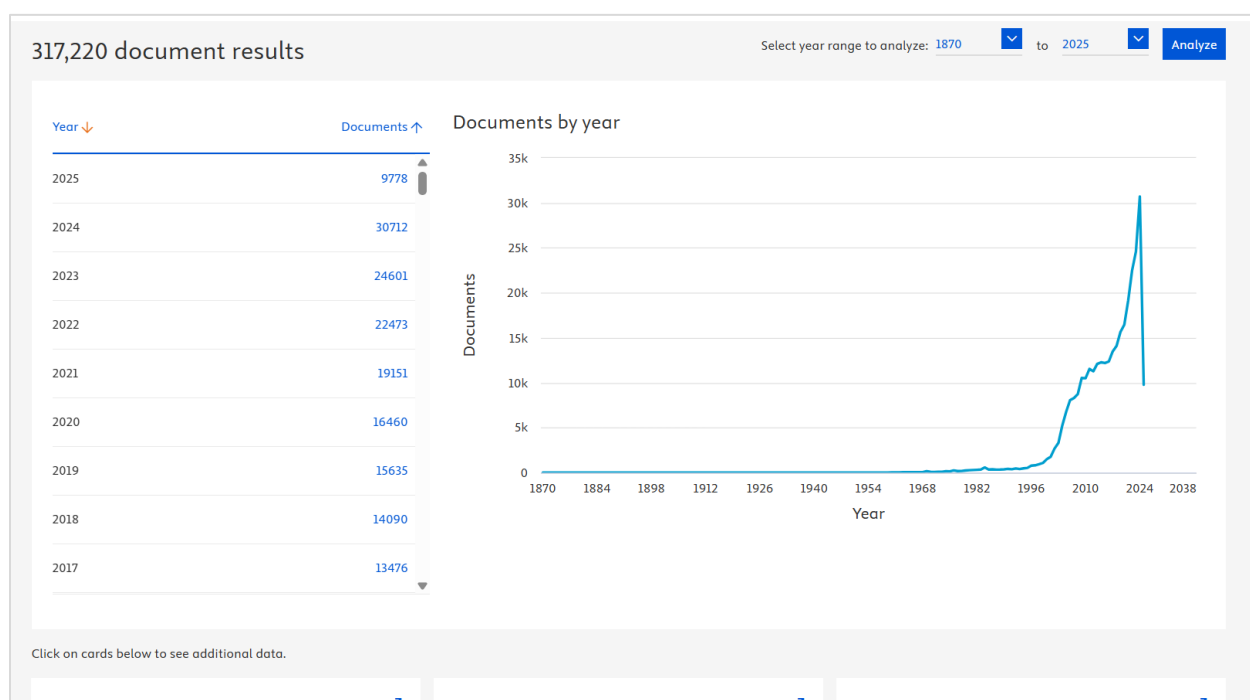
El análisis de documentos por año de publicación permite visualizar la evolución temporal de la producción científica sobre un tema específico. Esta función, disponible en la herramienta Analyze search results de Scopus, muestra cuántos documentos se han publicado en cada año dentro del periodo seleccionado.

Esta representación temporal es clave para identificar tendencias en la investigación, ya que permite observar si el interés en un determinado tema ha ido en aumento, se ha mantenido estable o ha disminuido con el tiempo. Además, puede señalar momentos de crecimiento acelerado en la producción científica, lo cual suele coincidir con avances tecnológicos, cambios en políticas públicas, crisis ambientales o incrementos en la financiación de ciertos sectores.

En el caso analizado, se observa una tendencia creciente en la producción científica relacionada con el tema, alcanzando su punto más alto en el año 2024, con un total de 30,712 publicaciones. Este pico refleja un interés sostenido y en expansión, posiblemente vinculado a la urgencia global por avanzar en tecnologías limpias, energías sostenibles y soluciones innovadoras frente al cambio climático.

### Figura 24

*El análisis de documentos por año*



*Nota.* Se observa una tendencia creciente en la producción científica relacionada con el tema, alcanzando su punto más alto en el año 2024, con un total de 30,712 publicaciones. Este pico refleja un interés sostenido y en expansión, posiblemente vinculado a la urgencia global por avanzar en tecnologías limpias, energías sostenibles y soluciones innovadoras frente al cambio climático.

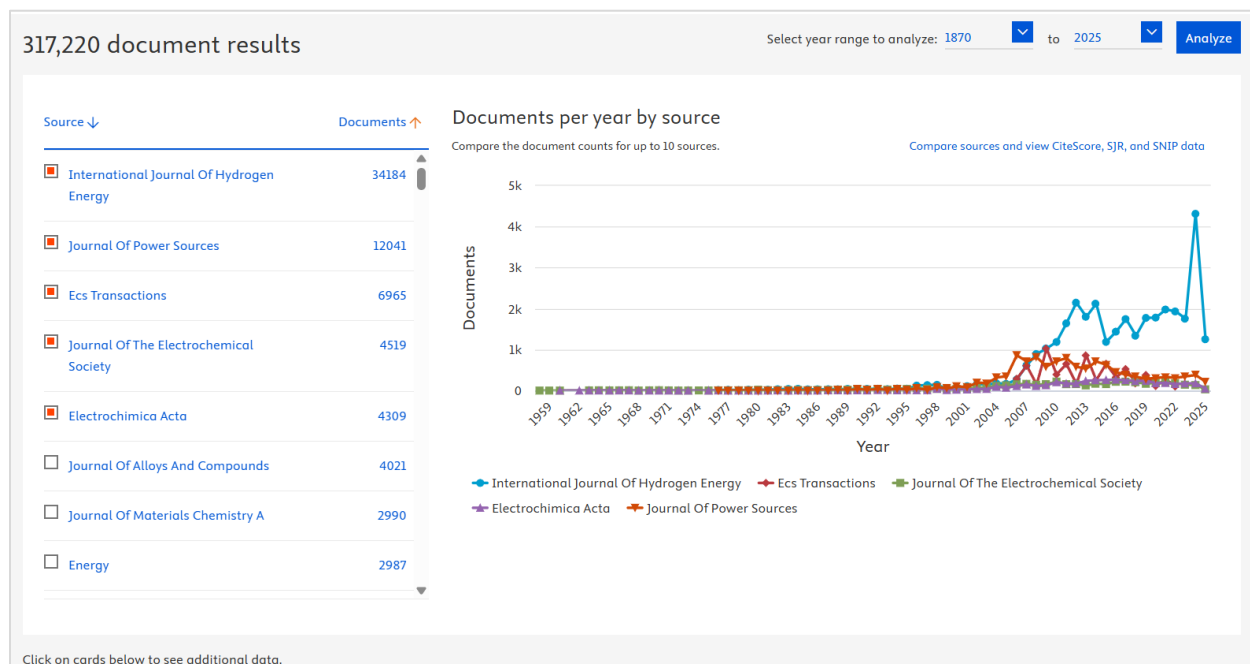
El análisis de documentos por año por fuente en Scopus permite examinar cómo ha evolucionado la producción científica a lo largo del tiempo en las diferentes revistas que publican sobre un tema específico. Esta funcionalidad muestra no solo cuántos documentos se han publicado en total, sino también cómo se distribuyen esos documentos por año en cada fuente o revista científica.

Este tipo de análisis es particularmente útil para identificar cuáles son las revistas más activas y constantes en la publicación de investigaciones relevantes, así como para detectar picos de actividad en años específicos. De esta manera, se pueden reconocer las fuentes que han tenido un papel destacado en el desarrollo y la difusión del conocimiento en un área determinada.

Observar esta distribución permite al investigador seleccionar de forma estratégica las revistas más adecuadas para consultar, citar o incluso considerar como destino para futuras publicaciones. También facilita el reconocimiento de tendencias editoriales, ya que algunas revistas pueden mostrar un crecimiento sostenido, mientras que otras tienen una producción más esporádica o especializada en ciertos periodos.

### **Figura 25**

*Análisis de Documentos por Año y Fuente en Scopus*



*Nota.* Se evidencia que varias fuentes han contribuido significativamente a la publicación de documentos en los últimos años, siendo algunas de ellas constantes en su producción anual, mientras otras presentan aumentos notables en años específicos, lo que puede estar relacionado con llamados especiales, avances tecnológicos o aumento del interés global en la temática.

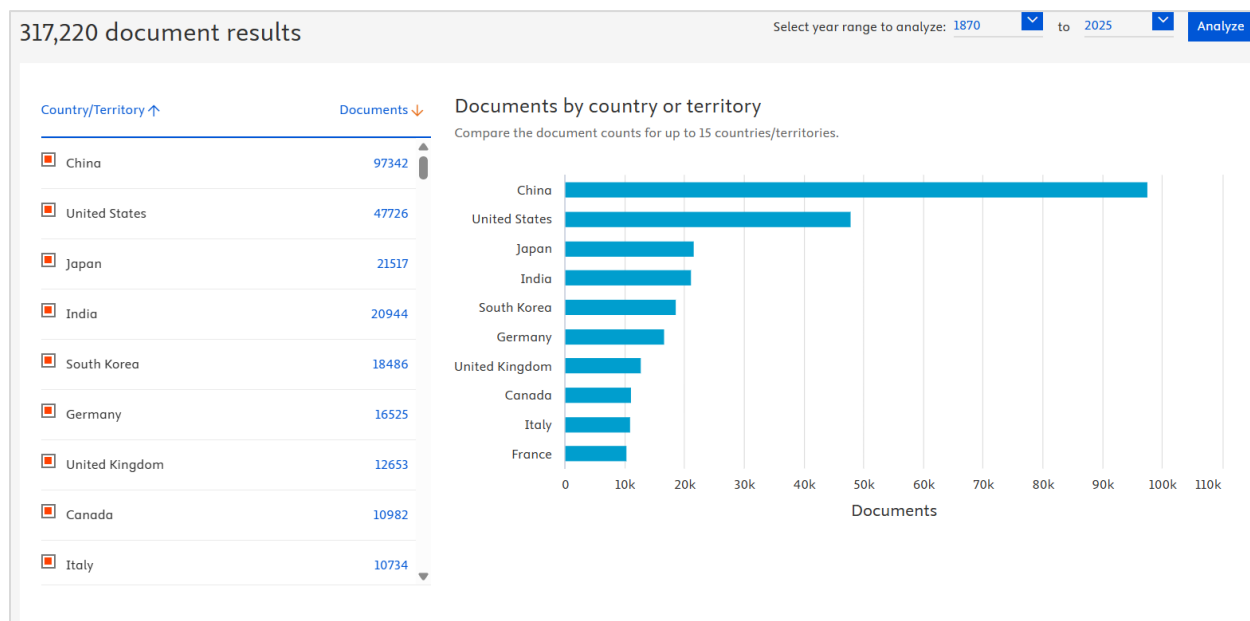
El análisis de documentos por territorio en Scopus permite identificar qué países o regiones lideran la producción científica en un área temática específica. Esta funcionalidad, disponible en la opción Analyze search results, clasifica los documentos recuperados según el país de afiliación de los autores, permitiendo conocer el nivel de participación y contribución de cada territorio en el desarrollo del conocimiento.

Este tipo de análisis resulta fundamental para comprender la distribución geográfica de la investigación científica, ya que revela no solo quiénes son los principales productores de literatura académica, sino también cómo se distribuye globalmente el interés por un tema determinado.

Además, puede reflejar la inversión en investigación, el nivel de colaboración internacional y las prioridades científicas de cada país.

## Figura 26

### *Análisis de Documentos por País en Scopus*



*Nota.* Los países con mayor número de publicaciones son China, Estados Unidos, Japon, India, Corea del sur, Alemania, Reino Unido, Canadá y Italia lo que indica que estas naciones tienen un papel protagónico en la generación de conocimiento dentro del campo de estudio. Esta información no solo destaca a los actores más activos, sino que también permite detectar oportunidades de colaboración internacional y referentes académicos por región.

El análisis de documentos por autor en Scopus permite identificar cuáles son los investigadores más activos y productivos en una temática específica. Esta herramienta, accesible desde la opción Analyze search results, organiza los resultados de la búsqueda según el número de publicaciones asociadas a cada autor, facilitando así la identificación de referentes académicos en el área de estudio.

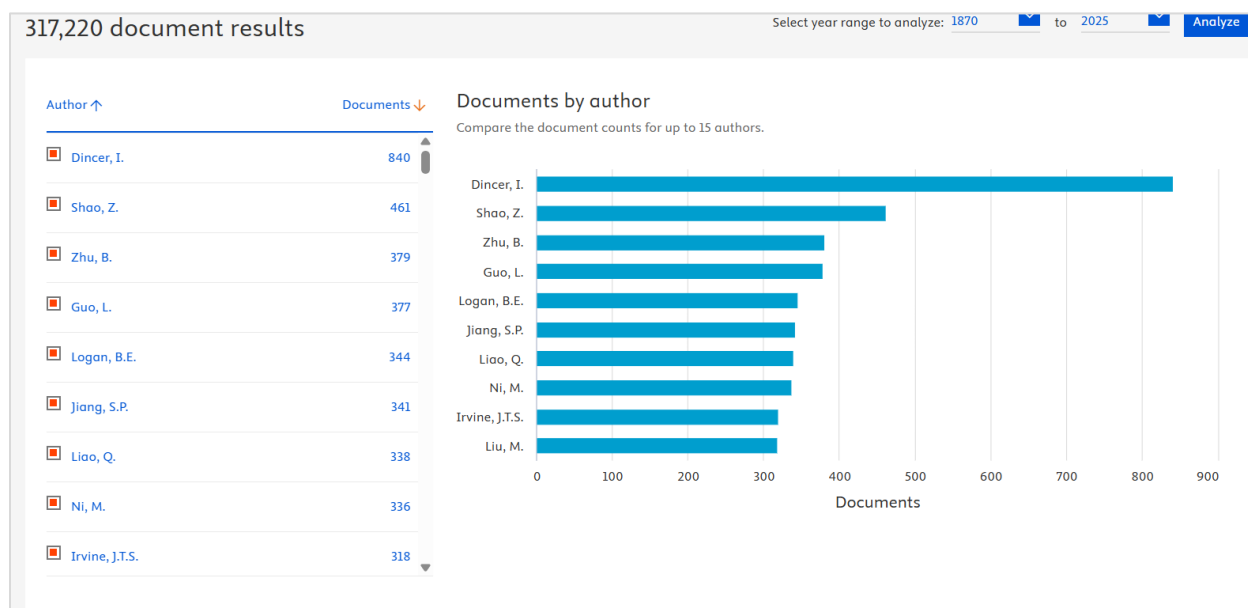
Este tipo de análisis es esencial en estudios bibliométricos, ya que permite reconocer a los expertos que han contribuido de manera significativa al desarrollo del conocimiento en un campo determinado. Además, ofrece una visión clara de la frecuencia de publicación, la continuidad del trabajo investigativo y, en muchos casos, la colaboración con otras instituciones o países.

Los autores más productivos suelen ser clave en la conformación de redes científicas, ya que su trabajo puede influir en tendencias de investigación, orientar futuras líneas de estudio o ser punto de partida para revisiones sistemáticas. En el análisis realizado, se puede observar un grupo selecto de investigadores con un número elevado de publicaciones, lo que sugiere un liderazgo académico y una trayectoria consolidada en el tema.

Esta información también puede ser útil para identificar posibles colaboradores, revisar su impacto a través del número de citas o explorar sus publicaciones más influyentes

## Figura 27

### *Análisis de Documentos por Autor en Scopus*



*Nota.* Los autores con mayor cantidad de publicaciones dentro de un total de 317,220 resultados. Incluye una tabla y un gráfico de barras que comparan el número de documentos publicados por los principales autores. El autor con más publicaciones es Dincer, I. (840 documentos), seguido por Shao, Z. (461) y Zhu, B. (379). La visualización permite identificar rápidamente quiénes son los autores más prolíficos en este conjunto de datos.

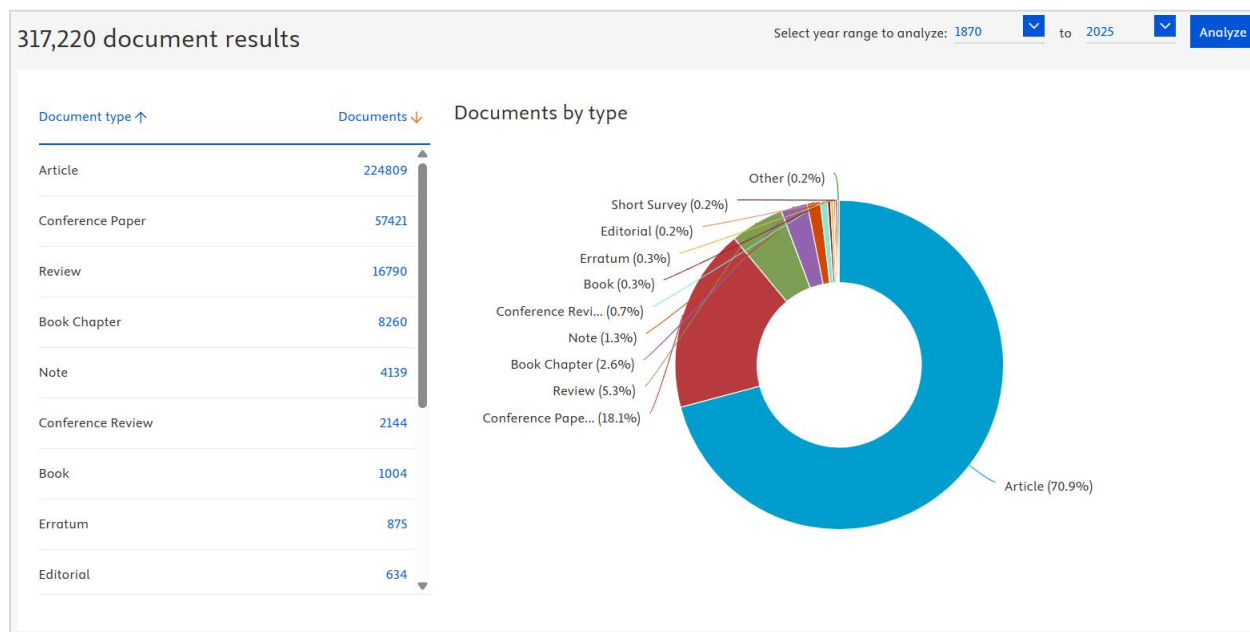
El análisis por tipo de documento en Scopus permite clasificar la producción científica según el formato de publicación utilizado. Esta función, incluida en la opción Analyze search results, agrupa los resultados en categorías como artículos científicos, revisiones, documentos de conferencias, capítulos de libro, editoriales, entre otros.

Esta clasificación es fundamental para comprender la naturaleza y profundidad de los trabajos publicados. Por ejemplo, los artículos científicos (articles) representan investigaciones originales con resultados nuevos; las revisiones (reviews) ofrecen una síntesis de hallazgos previos y son útiles para obtener una visión general del estado del arte; mientras que los documentos de conferencias (conference papers) suelen presentar avances preliminares o investigaciones en curso, especialmente en campos técnicos o de rápida evolución.

Comprender la distribución por tipo de documento permite al investigador orientar mejor sus búsquedas, seleccionar fuentes apropiadas según sus necesidades y valorar el tipo de contribución científica realizada. Además, esta información puede ser útil para definir el enfoque de futuras publicaciones y para analizar cómo se construye el conocimiento en el área estudiada.

### **Figura 28**

*Análisis de Documentos por Autor en Scopus*

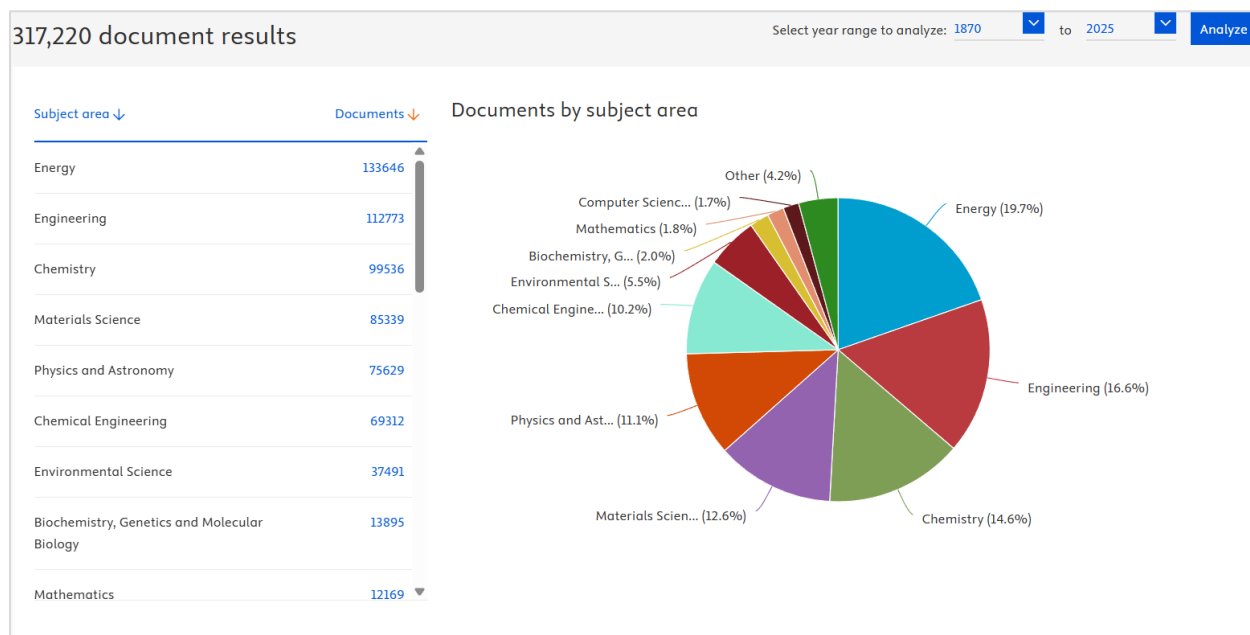


*Nota.* En la figura se observa que la mayoría de los documentos corresponden a artículos originales, lo que indica una alta producción de investigaciones empíricas. Sin embargo, también se destaca la presencia de revisiones y conferencias, lo que refleja el interés por consolidar el conocimiento existente y compartir avances en espacios académicos internacionales.

El análisis de Documentos por área temática en Scopus proporciona una visión general de las disciplinas científicas que contribuyen a la investigación sobre un tema específico. Esta categorización agrupa las publicaciones según las áreas temáticas definidas por Scopus, tales como Energía, Ingeniería, Química, Ciencias Ambientales, Física y Astronomía, Ciencia de los Materiales, Matemáticas, entre otras.

Este tipo de análisis es fundamental para comprender el enfoque disciplinar del tema investigado, así como el grado de interdisciplinariedad presente. Permite identificar desde qué campos del conocimiento se está abordando el tema, y si predomina una perspectiva técnica, científica, ambiental o una combinación de varias.

**Figura 29**

*Análisis por Áreas Temáticas de Publicaciones en Scopus*

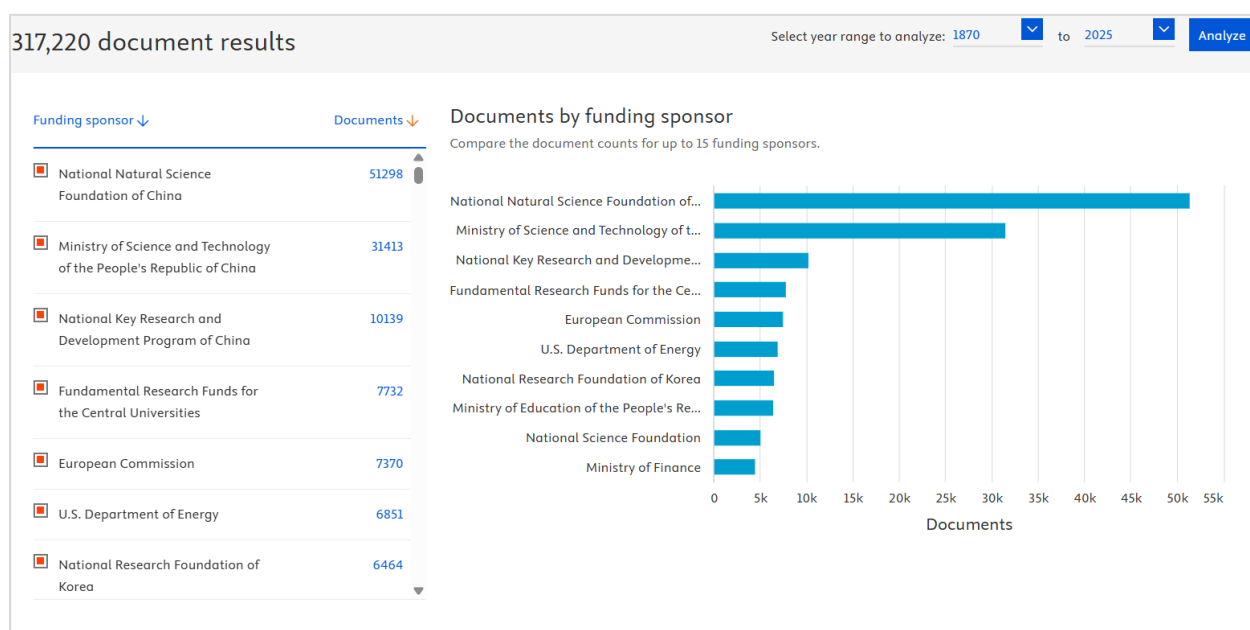
*Nota.* En la figura muestra un resumen de 317,220 documentos académicos clasificados por áreas temáticas. A la izquierda, una tabla enumera las principales áreas y la cantidad de documentos en cada una. Las áreas con más publicaciones son Energía (133,646 documentos), Ingeniería (112,773) y Química (99,536). A la derecha, un gráfico circular ilustra la proporción de documentos por área, destacando que Energía representa el 19.7% del total, seguida de Ingeniería (16.6%) y Química (14.6%). Otras áreas relevantes incluyen Ciencia de Materiales, Física y Astronomía, e Ingeniería Química.

El análisis de Documentos por entidad financiadora en Scopus permite identificar qué instituciones, agencias gubernamentales, organizaciones internacionales o empresas privadas están financiando la investigación en un área temática determinada. Esta herramienta agrupa las publicaciones según la fuente de financiación declarada por los autores, proporcionando una visión clara de los principales actores económicos detrás de la producción científica.

Este tipo de análisis es clave para entender qué instituciones están impulsando el desarrollo del conocimiento en un campo específico y cuáles son las prioridades estratégicas a nivel nacional e internacional. Además, permite detectar oportunidades potenciales de financiación para futuros proyectos de investigación, así como establecer redes de colaboración con instituciones que ya están invirtiendo en el tema.

### Figura 30

#### *Análisis de Documentos según Entidad Financiadora en Scopus*



*Nota.* En la figura muestra un análisis de 317,220 documentos, organizados según el patrocinador de financiamiento. La Fundación Nacional de Ciencias Naturales de China lidera con 51,298 documentos, seguida por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la República Popular China con 31,413. El gráfico de barras compara la cantidad de documentos financiados por hasta 15 patrocinadores diferentes.

### 5.2.5 Análisis de artículo de scopus

Se realiza un análisis de un documento de que tiene como nombre: "Perspectives of electrochemical and photocatalytic technologies for the water-energy nexus potential of water splitting of brines" de los autores: Arias-Sanchez, A.N., Flores, K., Fu, H., Betoni, T., Westerhoff, P., Garcia-Segura, S y con fecha de publicación: 27 de enero de 2025.

El artículo aborda el desafío global de gestionar salmueras (aguas residuales hiperconectadas) mediante tecnologías de división del agua, proponiendo un modelo integrado de nexo agua-energía. Combina producción de hidrógeno verde con recuperación de agua potable, especialmente relevante para regiones áridas y sistemas de desalinización costeros/interiores.

**5.2.5.1 Problemática actual en el artículo.** En las que están el volumen de salmueras que son las tecnologías como ósmosis inversa recuperan solo 25-80% del agua, generando residuos salinos equivalentes al 0.5% del caudal global de aguas residuales.

Los costos energéticos también son problemáticas que son sistemas ZLD (Zero Liquid Discharge) consumen 20-100 kWh/m<sup>3</sup>, principalmente en evaporación térmica y por ultimo los impactos ambientales como descargas directas afectan ecosistemas marinos (toxicidad iónica, temperatura elevada).

Propuesta tecnológica clave. El modelo propuesto integra tres componentes que son la división electro-/fotocatalítica de salmueras para producir H<sub>2</sub>, las celdas de combustible que oxidan H<sub>2</sub> para generar energía y agua ultrapura y recirculación energética que son 15-26% de la energía consumida se recupera vía celdas de combustible (eficiencia ~40%).

#### Tabla 4

*Comparación entre las tecnologías de Fotocatálisis y Electrocatálisis*

Parámetro	Fotocatálisis	Electrólisis
-----------	---------------	--------------

Eficiencia	1-15% (depende de material)	60-80% (con catalizadores nobles)
Costos catalizadores	\$5-50/kg (TiO <sub>2</sub> , g-C <sub>3</sub> N <sub>4</sub> )	\$3,000-50,000/kg (Pt, IrO <sub>2</sub> )
Escalabilidad	Reactores de flujo continuo	Sistemas modulares PEM/AEM
Retos principales	Recomb. portadores de carga	Corrosión por cloruros

*Nota.* En la tabla muestra algunas de las principales tecnologías para la producción de hidrógeno, resaltando sus características, ventajas y desafíos. Estas alternativas buscan mejorar su rendimiento y reducir costos para impulsar el desarrollo de energías limpias y sostenibles.

**5.2.5.2 Avances tecnológicos destacados.** De los más importantes están los materiales innovadores como electrocatalizadores abundantes que son el desarrollo de aleaciones Fe-Ni-Co y perovskitas que reducen costos un 90% vs metales nobles. Los fotocatalizadores híbridos que son estructuras core-shell mejoran absorción lumínica hasta 550 nm y eficiencia cuántica al 12% y la bioinspiración que es una estrategia biocinética reducen sobrepotencial en OER a 60 mV vs 250-350 mV en sistemas técnicos.

También es importante mencionar el manejo de salmueras complejas como el agua de mar con el uso de iones naturales (Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>) como co-catalizadores a 270°C, aumentando eficiencia fotocatalítica un 300% y las técnicas analíticas como la espectroscopía NAP-XPS permite mapear polarización superficial en facetas cristalinas

La optimización sistémica cobra mucha importancia al momento de hablar de machine learning con modelos DFT-ML predicen propiedades electrocatalíticas con 95% de precisión, acelerando descubrimiento de materiales y también los diseños de reactores que son configuraciones de flujo pistón mejoran conversión fotocatalítica en brines de 8% a 22%.

**5.2.5.3 Retos técnicos y ambientales.** Se encuentra 4 uno de ellos es la estabilidad material que es la degradación catalítica en salmueras reales (vida útil <1,000 hrs vs 10,000 hrs requeridas) otro reto es el efecto matriz salina que por un lado el Cl<sup>-</sup> promueve corrosión (0.1 mm/año en acero 316L a 50 g/L NaCl) y el Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> forman precipitados que bloquean sitios activos

La energía integrada es otro de los retos el cual se requieren eficiencias  $>25\%$  para competir con ZLD convencional y el escalamiento industrial que es la brecha entre laboratorio ( $1-10 \text{ W/m}^2$ ) y requerimientos prácticos ( $>100 \text{ W/m}^2$ ).

**5.2.5.4 Perspectivas futuras del artículo.** El estudio propone tres líneas estratégicas una de ellas son los Reactores híbridos que combinan la fotocatalisis UV-Vis con electrocatalisis para operación 24/7 también la recuperación de minerales que Acoplan la extracción de Li/Mg durante división del agua (valorización adicional).

Por último, el sistemas off-grid que es la integración con energía solar concentrada (CSP) para alcanzar temperaturas  $>200^\circ\text{C}$  en desiertos la proyección económica de estos modelos indica viabilidad comercial para 2035 si la eficiencia fotocatalítica  $\geq 15\%$ ; costos catalizadores  $\leq \$20/\text{kg}$  y vida útil  $\geq 5$  años.

## 6. Resultados

La información proviene de buenas fuentes como Scopus y Web of Science, que tienen artículos científicos y otras cosas de sitios web importantes como Science Direct. Estas bases de datos tienen una gran cantidad de información que es legítima y verificable.

Se estableció una estrategia de búsqueda que incluye filtros y criterios específicos, como localizaciones geográficas relevantes, palabras clave y metodologías utilizadas en las investigaciones. Esto facilita el proceso de búsqueda y asegura que se obtenga información pertinente y de calidad para la revisión.

### 6.1 Producción científica y tendencias temporales

La información proviene de buenas fuentes como Scopus y Web of Science, que tienen artículos científicos y otras cosas de sitios web importantes como Science Direct. Estas bases de datos tienen una gran cantidad de información que es legítima y verificable.

Se estableció una estrategia de búsqueda que incluye filtros y criterios específicos, como localizaciones geográficas relevantes, palabras clave y metodologías utilizadas en las investigaciones. Esto facilita el proceso de búsqueda y asegura que se obtenga información pertinente y de calidad para la revisión.

Se destaca un incremento significativo en la investigación en esta área desde el año 2010, estableciendo una relación sólida con las herramientas de tecnologías de la información y la comunicación (TIC), permitiendo llevar un registro actualizado y en tiempo real de las investigaciones que se están realizando actualmente. El número de publicaciones anuales ha crecido especialmente a partir de 2015, lo que refleja un interés creciente en la investigación sobre el hidrógeno como fuente energética sostenible y el papel que desempeñan las tecnologías de la información en este campo.

Entre 2020 y 2024, se produjo un aumento exponencial en los artículos relacionados con la digitalización de procesos en la producción de hidrógeno, como el uso de big data, IoT (Internet de las Cosas), y inteligencia artificial en la optimización de la cadena de suministro de hidrógeno.

### Tabla 5

*Procesos de producción de Hidrogeno (Rodrigo Vásquez Torres 2021)*

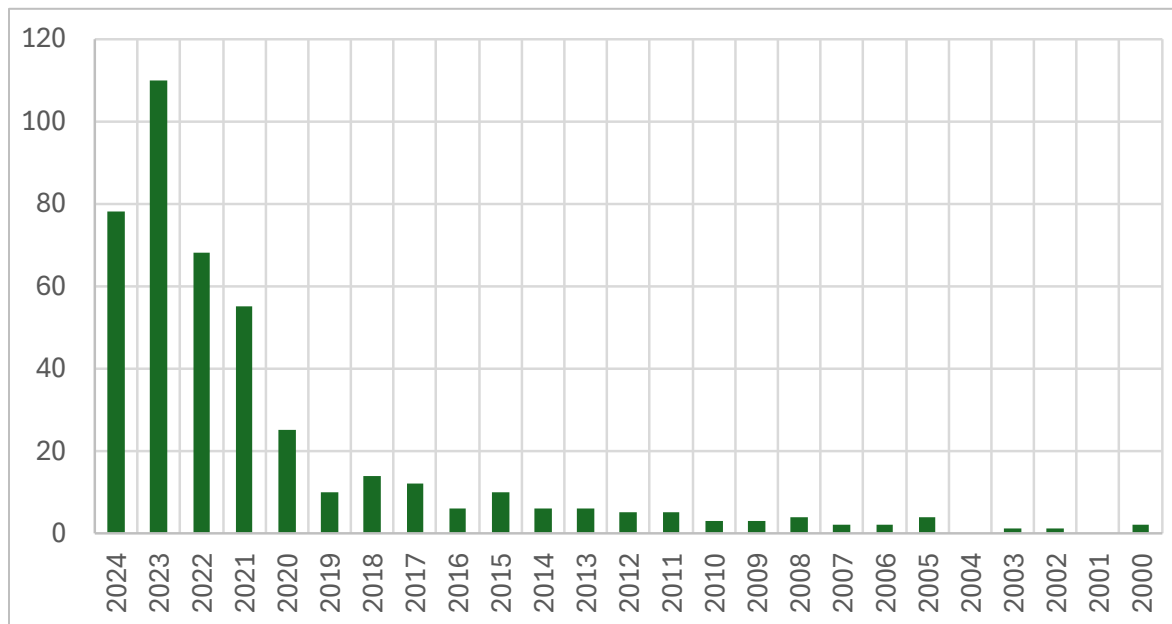
<b>Procesos</b>	<b>Fuentes de energía</b>	<b>Insumo</b>
H2 gris o azul		
Reformado	Combustible fósil	Metano
ATR (autothermal reforming)	Combustible fósil	Metano
Pirólisis	Combustible fósil	Carbón
H2 azul		
Reformado + Captura CO2	Combustible fósil	Metano
H2 Verde		
Gasificación	Biomasa	Agua Metano
Reformado	Fósiles, Biomasa	Agua
Fermentación	Biomasa	Agua

Descomposición térmica	Solar	Agua
Descomposición foto catalítica del agua	Solar	Agua
Biofotolítica	Solar	Agua
Foto electrólisis	Solar	Agua
Electrólisis del agua	Electricidad (ERNC)	Agua

*Nota.* Procesos de producción de hidrógeno clasificados según su tipo (gris, azul y verde), fuente de energía e insumos requeridos. Se incluyen métodos tradicionales como reformado, ATR y pirólisis para hidrógeno gris o azul a partir de combustibles fósiles, y alternativas de hidrógeno verde mediante gasificación, electrólisis y procesos fotocatalíticos, destacando el uso de fuentes renovables como biomasa, energía solar y electricidad de origen ERNC (Energías Renovables No Convencionales).

### Figura 31

*Número de artículos de scopus*



*Nota.* Se observa que a lo largo de los años ha habido variaciones en la cantidad de documentos científicos publicados, con picos en los años 2021, 2022 y 2023. Es relevante mencionar que el año

2024 se considera meramente informativo, ya que puede que no se cuente con todos los datos correspondientes a ese año en el momento de la realización del estudio.

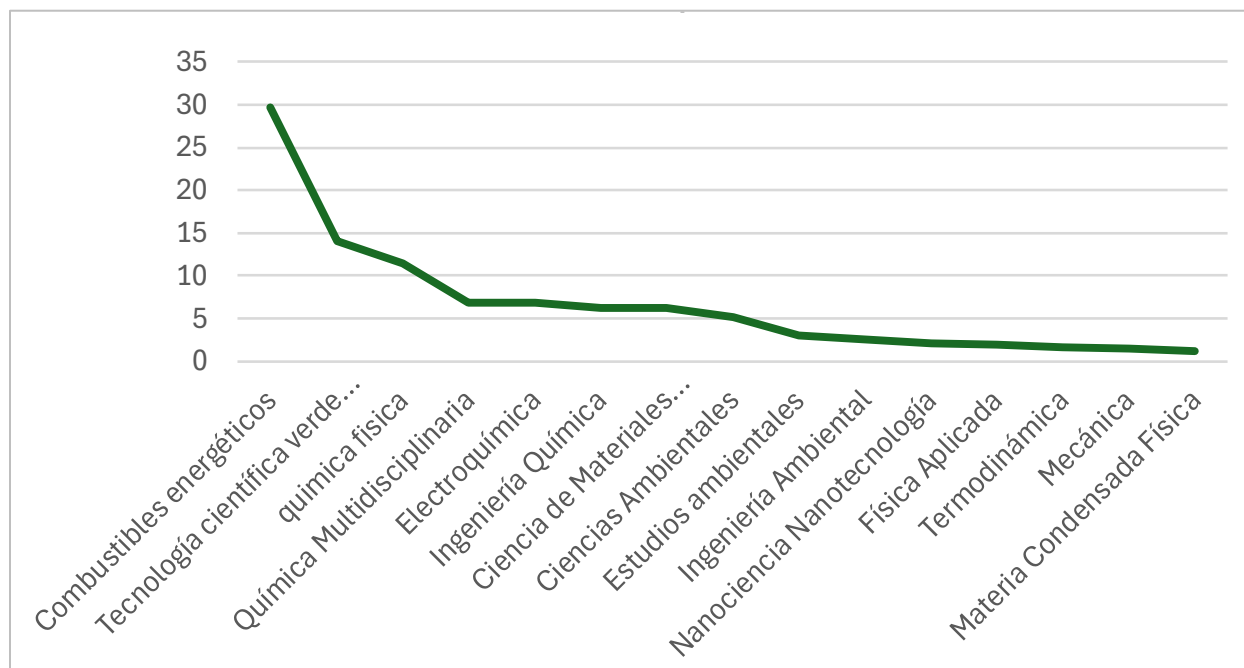
### ***6.1.1 Proyectos destacados 2025 a nivel mundial***

Para garantizar la calidad del análisis bibliométrico, se restringió la búsqueda al ámbito de producción de tecnologías de hidrogeno. Como resultado, se observó una mejora significativa al utilizar términos como hydrogen technologies, renewable energies, energy transition, sustainable energy.

Las palabras claves permitieron concentrar la búsqueda en un área relevante y actualizada para el conocimiento y, por ende, recopilación de información relevante a la temática del ámbito de producción de tecnologías de hidrogeno y el uso de términos específicos para el estudio. En especial una vez que los términos generales fueron muy extensos y se ampliaron para el área a consultar.

### **Figura 32**

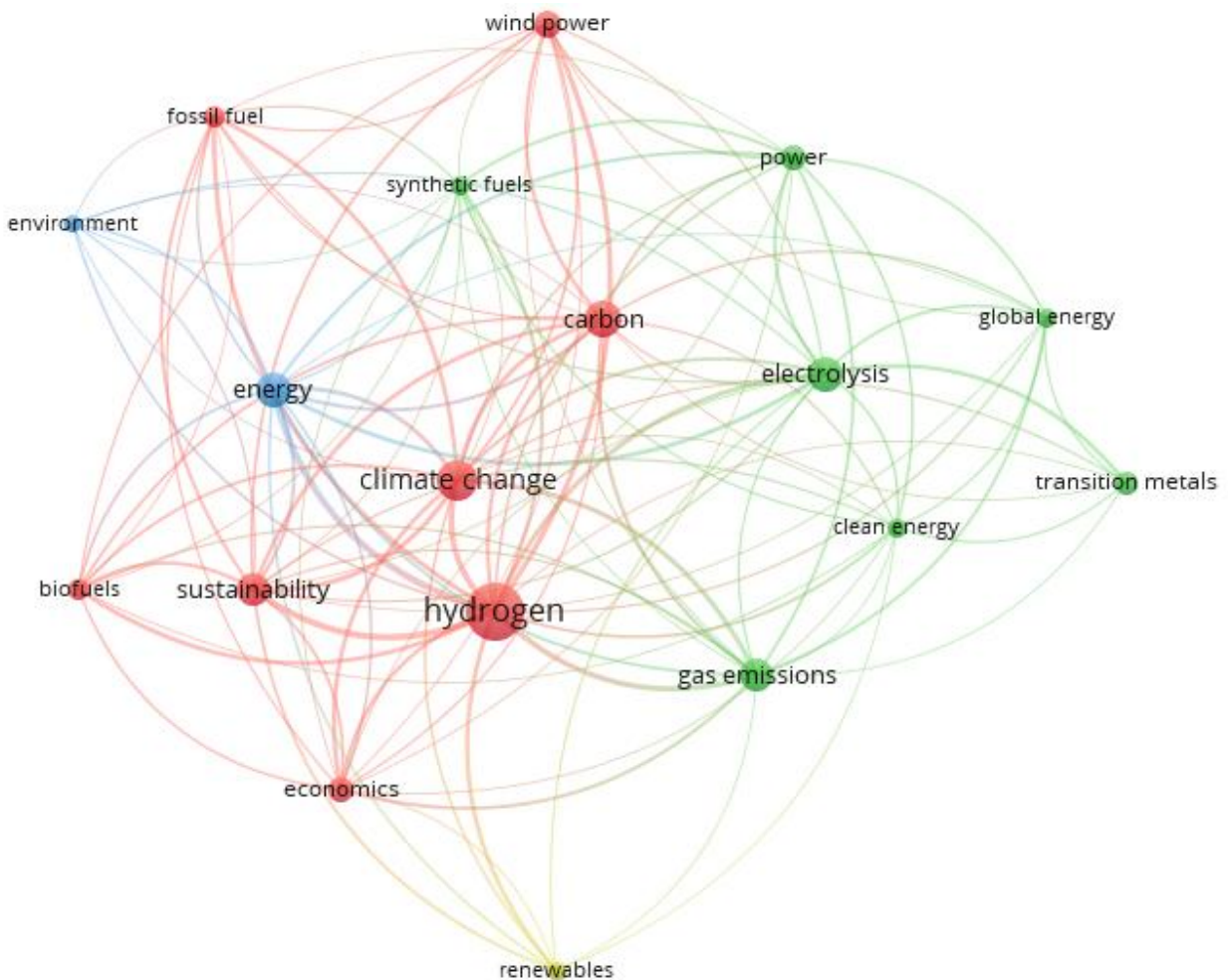
*Clasificación por áreas tomado de web of science*



*Nota.* La cuidadosa clasificación por categorías reveló que las palabras clave seleccionadas estaban estratégicamente alineadas con un objetivo definido. Este enfoque detallado condujo a una mejora notable en la clasificación de los artículos recuperados de las bases de datos pertinentes. La precisa selección de términos clave facilitó la organización y el acceso a la información, permitiendo así un análisis más eficaz y una comprensión más profunda de los datos recopilados en las nuevas tecnologías de hidrogeno.

### **Figura 33**

*Mapa de conexión Vosviwer de Artículos por Palabras Clave*



*Nota.* VOSviewer es una herramienta de visualización de datos bibliométricos que permite crear mapas basados en la coocurrencia de términos en documentos científicos. En este contexto, ver varios colores en un mapa bibliométrico que van cambiando por los años de publicación significa que la distribución de los términos o temas investigados en la literatura científica está evolucionando a lo largo del tiempo.

### Tabla 6

*Publicaciones en la revista Internacional de Energía del Hidrógeno, de economía y política energética en 2025*

Autores	Titulo
---------	--------

Beyazit N.I.	Viaje hacia un futuro sostenible: la importancia del hidrógeno renovable en aplicaciones industriales y domésticas
Evro S.; Oni B.A.; Tomomewo O.S.	Reutilización de yacimientos no convencionales agotados para el almacenamiento de hidrógeno: desafíos y oportunidades
de la Cruz-Soto J.; Azkona-Bedia I.; Cornejo-Jimenez C.; Romero-Castanon T.	Evaluación de costos nivelados para la producción de hidrógeno verde para el sistema nacional de refinerías en México
Mathew S.; Sunajadevi K.R.P.; Pinheiro D.; Selvaraj M.	Revelando el potencial sinérgico del compuesto Ti3C2 MXene/sulfuro de vanadio para mejorar la división electroquímica del agua
Shu K.; Guan B.; Zhuang Z.; Chen J.; Zhu L.; Ma Z.; Hu X.; Zhu C.; Zhao S.; Dang H.; Zhu T.; Huang Z.	Remodelando el panorama energético: exploraciones y perspectivas estratégicas sobre la preparación de energía del hidrógeno, el almacenamiento eficiente, el transporte seguro y sus amplias aplicaciones.
Shahin M.; Simjoo M.	Posibles aplicaciones de herramientas innovadoras basadas en IA en el desarrollo de la energía del hidrógeno: aprovechamiento de tecnologías de modelos de lenguaje grandes
Carvalho Miranda J.C.D.; Souza R.F.; Alves Justi A.C.; Zondervan E.	El panorama de la tecnología verde y del biohidrógeno: una exploración basada en datos utilizando métodos no supervisados
Najafov B.A.; Nasirov S.N.; Nasirov S.N.	Algunos aspectos de la energía solar-hidrógeno: Efecto de la radiación y estabilidad termodinámica de los elementos solares creados a base de mezclas de gases SiH4, CH4 y H2
Phogat P.; Chand B.; Shreya; Jha R.; Singh S.	Pilas de combustible de hidrógeno y metanol: un análisis exhaustivo de los desafíos, avances y perspectivas futuras de las energías limpias
Urhan B.B.; Erdoğan A.; Dokuz A.Ş.; Gökçek M.	Predecir la producción de hidrógeno verde utilizando electrolizadores impulsados por paneles fotovoltaicos y turbinas eólicas basadas en técnicas de aprendizaje automático: un camino hacia estaciones de repostaje de hidrógeno in situ
Sun H.; Wang Z.; Meng Q.; White S.	Avances en las tecnologías de almacenamiento de hidrógeno: mejora de la eficiencia, la seguridad y la viabilidad económica para la transición energética sostenible
Meena P.K.; Patane P.M.	Biohidrógeno: Avanzando en una transición sostenible de los combustibles fósiles a la energía renovable
Manal A.	El papel de las energías renovables en el impulso de la transformación económica y el desarrollo sostenible en Arabia Saudita
Anser M.K.; Ali S.; Umair M.; Javid R.; Tayab M.	Optimizar la integración del hidrógeno en los sistemas de combustible de los vehículos para el desarrollo sostenible: un paso hacia la descarbonización económica
Hossain Bhuiyan M.M.; Siddique Z.	El hidrógeno como combustible alternativo: una revisión integral de los desafíos y oportunidades en la producción, el almacenamiento y el transporte.

Rong Q.; Shami H.O.; Ali A.B.M.; Alshamrani A.; Agarwal D.; Ahmed M.; Rajab H.; Mabrouk A.; Kolsi L.; Ben Said L.; El-Shafay A.S.	Viabilidad ambiental, financiera y tecnológica de una configuración híbrida basada en red/fotovoltaica/batería/viento/electrolizador/biogás para producir energía e hidrógeno.
---	--

*Nota.* Para el listado sobre hidrógeno renovable en aplicaciones industriales y domésticas:

"Se recopilan diversos artículos científicos que exploran el papel del hidrógeno renovable en la descarbonización industrial y su potencial uso doméstico, incluyendo estudios sobre almacenamiento en yacimientos agotados y análisis económicos para su producción en refinerías mexicanas.

### Tabla 7

*Publicaciones Revista de China, Ingeniería Química, Ambiental, de Energía, de Residuos Peligrosos, Tóxicos y Radiactivos en 2025*

Autores	Título
Udendhran R.; Mohan T.R.; R B.; Uthra R.A.; G A.C.; Selvakumarasamy S.; Dinesh G.; Mukhopadhyay M.; Saraswat V.; Chakraborty P.	Transición a sistemas de vehículos eléctricos sostenibles: perspectivas globales sobre los desafíos, políticas y oportunidades
Zhang Z.; Song L.	Producción de hidrógeno por electrólisis de agua: Avances, desafíos y perspectivas de futuro; Producción de hidrógeno por electrólisis de agua: Avances, desafíos y perspectivas de futuro;
Yu J.; Li T.; Pan J.	Optimización de los sistemas Micro-CHP integrados con hidrógeno con respuesta a la demanda para una gestión energética sostenible
Gomaa F.A.; Nada A.A.; Gomaa H.E.M.; El-Maghrabi H.H. Sani M.M.; Afshari H.; Saif A.	Avanzando en el hidrógeno verde: innovaciones y desafíos en la electrólisis del agua de mar para la producción de energía sostenible El papel del almacenamiento de hidrógeno a largo plazo en la descarbonización de comunidades remotas en Canadá: un marco de optimización con objetivos económicos, ambientales y sociales
Dhawad C.; Bhave P.P.; Murari K.K.; Ubale P.	Oportunidad, desafíos y opciones para la descarbonización de una enorme flota de transporte en una importante organización india

*Nota.* Para la lista de publicaciones de la revista china sobre ingeniería química y energía:

"Se presentan artículos científicos publicados en la revista china especializada en ingeniería química y energía, que abordan temas como la transición hacia vehículos eléctricos sostenibles, la

electrólisis del agua para producción de hidrógeno y la integración de sistemas Micro-CHP con hidrógeno para mejorar la eficiencia energética.

### Tabla 8

*Ciencia de Materiales para Tecnologías Energéticas, Cambio Climático, Energía Limpia, Ciencias Sociales y Combustibles en 2025*

Autores	Titulo
Sezer N.; Bayhan S.; Fesli U.; Sanfilippo A.	Una revisión exhaustiva del estado del arte de la electrólisis del agua con membranas de intercambio de protones.
Angelico R.; Giametta F.; Bianchi B.; Catalano P.	Hidrógeno verde para la transición energética: una perspectiva crítica
Roucham B.; Lefilef A.; Zaghoud O.; Mohammed K.S.	La evolución del hidrógeno verde en la investigación de energías renovables: perspectivas desde una perspectiva bibliométrica
Gonzalez Hernandez S.; Kirchofer A.	Incentivar el hidrógeno: una revisión en perspectiva de las disparidades en la metodología del análisis del ciclo de vida que afectan los incentivos al hidrógeno en los marcos políticos
Akpassi S.O.; Smarte Anekwe I.M.; Tetteh E.K.; Amune U.O.; Mustapha S.I.; Kiambi S.L.	El hidrógeno como vector de energía limpia: avances, desafíos y su papel en un futuro energético sostenible
Abdirahman A.A.; Asif M.; Mohsen O. Knapkiewicz P.	Economía circular en el sector de las energías renovables: una revisión de las tendencias de crecimiento, las brechas y las direcciones futuras Dispositivos basados en sistemas microelectromecánicos para determinar el poder calorífico del gas natural y medir el contenido de H <sub>2</sub> en combustibles gaseosos hidrogenados
Abuzayed A.; Liebensteiner M.; Hartmann N.	La flexibilidad importa: evaluación del impacto de la flexibilidad de las pequeñas y medianas empresas en la transición energética alemana
Nachidi M.L.; Smouni O.; Ky T.; Rabhi A.; Macabebe E.Q.B.	Avanzando en el transporte sostenible: un estudio de viabilidad sobre una estación de carga ecológica para vehículos eléctricos con sistemas de control difuso en Francia y Filipinas
Chhugani T.; Rahmani R.	Evaluación completa del ciclo de vida del consumo de energía y emisiones de diferentes vehículos pesados propulsados por electricidad, hidrógeno, metanol y GNL producidos a partir de diversas fuentes.
Khaing M.M.; Yin S.	Gestión del ciclo de vida de los ductos de hidrógeno: estrategias de diseño, mantenimiento y rehabilitación para la transición a la energía limpia en Canadá
Kumari P.; Kumar A.	Generación asistida por energía solar de fotocatalizador de plata plasmónica para la remediación de aguas residuales y la producción de hidrógeno verde
Dong C.; Huang G.; Cheng G.; Cai Y.; Chen C.; Zhu J.	Evaluación de los impactos energéticos, económicos y ambientales de los objetivos de reducción de emisiones de GEI en las provincias canadienses: un modelo energético nacional orientado a la ceroización neta

Kök A.; Billerbeck A.; Manz P.; Kranzl L.	Lograr la neutralidad climática en la calefacción urbana: el impacto de los niveles de temperatura del sistema en la combinación de suministro de la UE-27 en 2050
Otsubo Y.	Compresión de hidrógeno y transporte de larga distancia: tecnologías y aplicaciones emergentes en la industria del petróleo y el gas: una revisión técnica
Goodwin D.; Gale F.; Lovell H.; Beasy K.; Murphy H.; Schoen M. Marquez R.; Ovalles C.; Lopez-Linares F.; Wang W.; Robinson P.; Reynolds M.A.	Opiniones de expertos sobre la legitimidad de los sistemas de certificación de hidrógeno renovable Perspectiva del Comité de la Industria de Energía y Combustibles de ACS hacia la transición hacia fuentes de energía sostenibles
Indrajith B.; Gunawardane K.	Navegando por la intersección de las microrredes y el hidrógeno: tendencias evolutivas, desafíos y estrategias futuras
Sadat-Razavi P.; Karakislak I.; Hildebrand J.	Discursos en los medios alemanes y percepciones públicas sobre las importaciones de hidrógeno: una perspectiva de justicia energética

---

*Nota.* Para la tabla sobre ciencia de materiales y energías limpias: "Se compilan investigaciones recientes centradas en la ciencia de materiales aplicada a tecnologías energéticas y cambio climático, con énfasis en membranas para electrólisis, evolución del hidrógeno verde, economía circular en energías renovables y análisis de flexibilidad en la transición energética alemana.

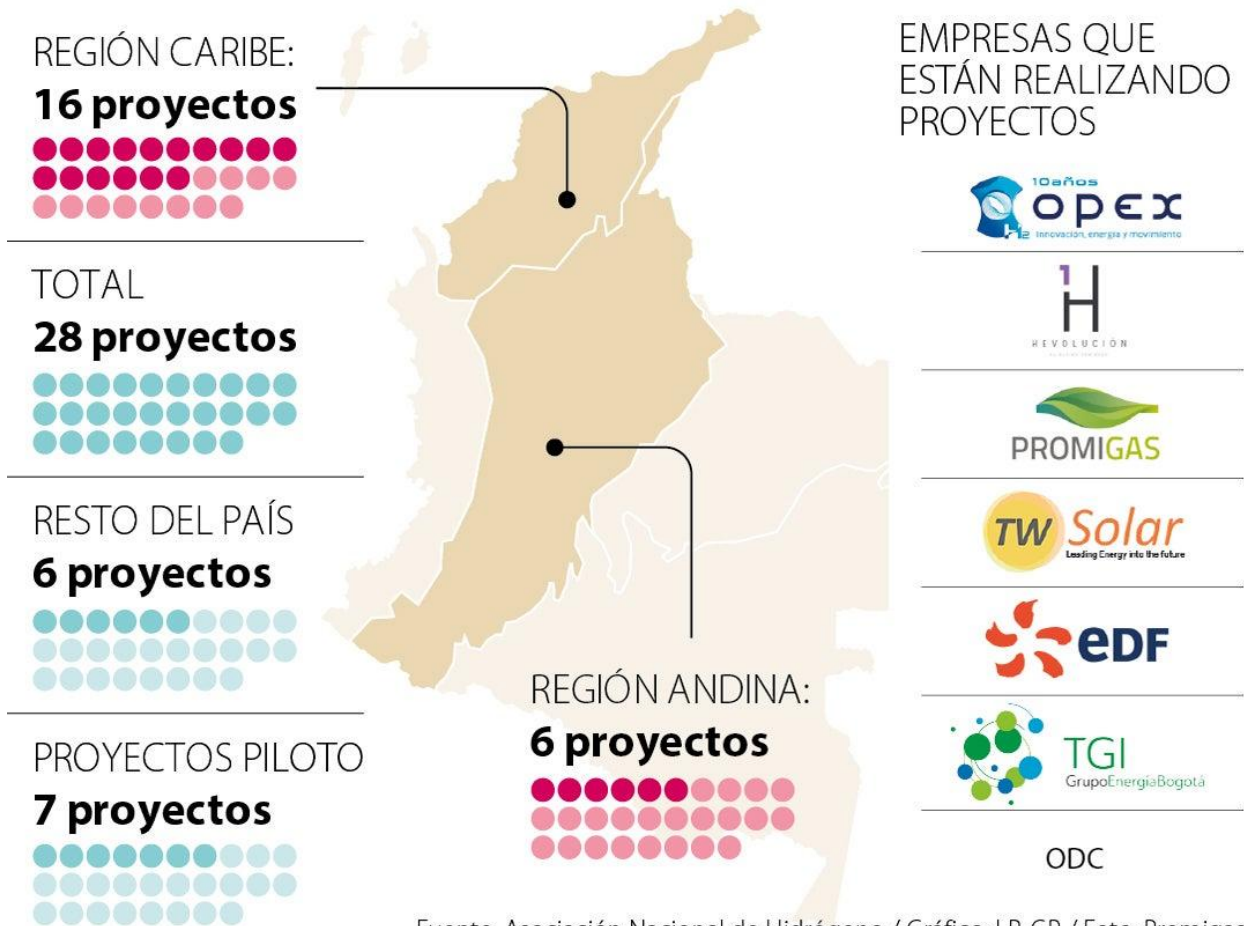
### ***6.1.2 Proyectos piloto en Colombia***

En los últimos años, Colombia ha comenzado a posicionarse como un actor emergente en el desarrollo de energías limpias, y el hidrógeno verde se presenta como una de las alternativas más prometedoras para la transición energética del país. Impulsado por su potencial en energías renovables como la solar y la eólica, el gobierno colombiano ha promovido una hoja de ruta para el hidrógeno, identificando proyectos piloto enfocados en la producción, almacenamiento y aplicación de este combustible limpio en sectores estratégicos como transporte, minería e industria. Estas iniciativas buscan no solo diversificar la matriz energética nacional, sino también contribuir a la descarbonización y fortalecer la competitividad energética en América Latina.

### **Figura 34**

*Proyectos de hidrogeno en Colombia 2022*

## PROYECTOS DE HIDRÓGENO EN COLOMBIA

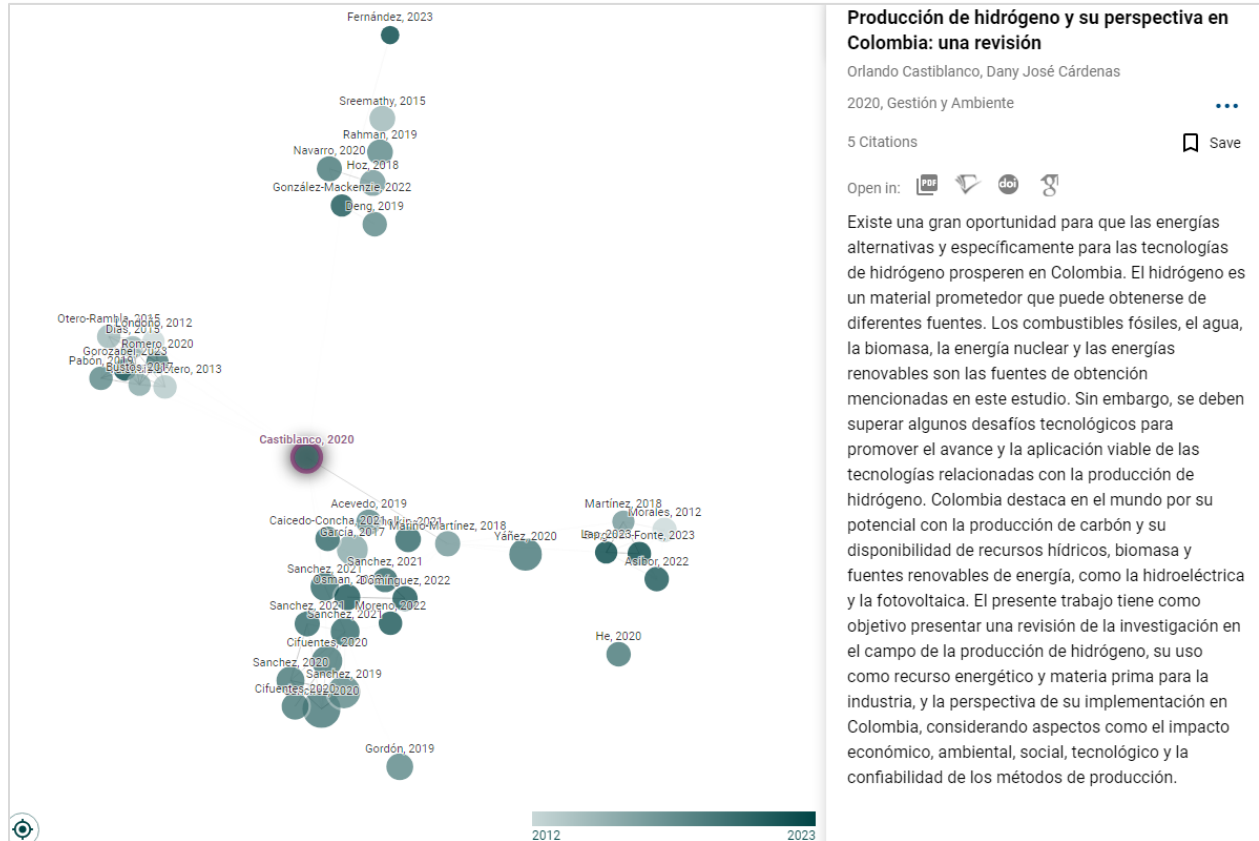


Fuente: Asociación Nacional de Hidrógeno / Gráfico: LR-GR / Foto: Promigas

*Nota.* La imagen muestra la distribución geográfica y el número de proyectos de hidrógeno en el país. En el centro aparece un mapa de Colombia, destacando la Región Caribe con 16 proyectos y la Región Andina con 6 proyectos, mientras que en el resto del país hay 6 proyectos y existen 7 proyectos piloto, para un total de 28 proyectos. A la derecha, se listan las empresas que están realizando estos proyectos, entre ellas Opex, H2 Colombia, Promigas, TW Solar, EDF, TGI y ODC. La infografía utiliza puntos de colores para representar visualmente la cantidad de proyectos en cada región y resalta la importancia de la colaboración empresarial en el desarrollo del hidrógeno en Colombia.

**Figura 35**

*Producción de hidrogeno y su perspectiva en Colombia*



*Nota.* Para la tabla sobre ciencia de materiales y energías limpias: "Se compilan investigaciones recientes centradas en la ciencia de materiales aplicada a tecnologías energéticas y cambio climático, con énfasis en membranas para electrólisis, evolución del hidrógeno verde, economía circular en energías renovables y análisis de flexibilidad en la transición energética alemana.

**Tabla 9**

*Proyectos actuales en Colombia en estado en concepto*

Nombre del proyecto	País	Datos	Estado	Tecnología
Producción de Urea Verde en Colombia	COLOMBIA	2026	Concepto	ALK
TW Solar Sucre	COLOMBIA	2026	Concepto	PEM

Estación de servicio de hidrógeno HRS	COLOMBIA	2026	Concepto	PEM
Hidrógeno verde	COLOMBIA	2026	Concepto	Otro
HUB hidrogeno Atlántico II	COLOMBIA	2027	Concepto	PEM
HUB Barranquilla	COLOMBIA	2027	Concepto	PEM
Hidrógeno para transporte pesado	COLOMBIA	2027	Concepto	Otra electrólisis
Amoníaco verde	COLOMBIA	2030	Concepto	PEM
Amoníaco verde	COLOMBIA	2040	Concepto	Otra electrólisis
Hidrógeno verde para la industria nacional y derivados para la exportación	COLOMBIA	2040	Concepto	Otra electrólisis

*Nota.* La tabla presenta un panorama de los proyectos de hidrógeno y derivados verdes en Colombia que están actualmente en la fase de concepto, abarcando iniciativas que van desde la producción de urea y amoníaco verde hasta estaciones de servicio de hidrógeno y hubs, con fechas de inicio o finalización estimadas entre 2026 y 2040, y que utilizan diversas tecnologías de electrólisis como la alcalina (ALK) y la de membrana de intercambio de protones (PEM).

### Tabla 10

*Proyectos en Colombia en Estado del estudio de factibilidad*

Nombre del proyecto	País	Datos	Estado	Tecnología
Optimización de un sistema multi fluido para la generación y venta paralela de electricidad e hidrógeno verde y servicios asociados para clientes industriales	COLOMBIA	2024	Estudio de factibilidad	PEM
Movilidad de la Corporación Sumitomo	COLOMBIA	2025	Estudio de factibilidad	ALK
refinería de Cartagena	COLOMBIA	2026	Estudio de factibilidad	PEM
Barrancabermeja refinería	COLOMBIA	2026	Estudio de factibilidad	PEM

TGI LOHC	COLOMBIA	2026	Estudio de factibilidad	Otra electrólisis
HUB hidrogeno verde Cartagena	COLOMBIA	2027	Estudio de factibilidad	PEM
Beauty Ammonia	COLOMBIA	2027	Estudio de factibilidad	ALK
Hidrógeno azul	COLOMBIA	2033	Estudio de factibilidad	Otro
Proyecto de metanol verde y biocombustibles de Ecopetrol	COLOMBIA		Estudio de factibilidad	Otra electrólisis
AES Colombia	COLOMBIA		Estudio de factibilidad	Otra electrólisis

*Nota.* Se muestra un conjunto de proyectos en Colombia que se encuentran en la fase de estudio de factibilidad. Incluye información como el nombre del proyecto, el país (Colombia), datos relevantes, el estado actual del proyecto y la tecnología utilizada. Los proyectos abarcan diversas áreas, como la optimización de sistemas multifluido, la movilidad corporativa, refinerías, producción de hidrógeno y proyectos de metanol. Las tecnologías empleadas incluyen PEM (membrana de intercambio de protones), ALK (alcalina) y otras tecnologías de electrólisis.

### Tabla 11

*Proyectos en Colombia en FID/estado de construcción*

Nombre del proyecto	País	Datos	Estado	Tecnología
Protium	COLOMBIA	2023	FID/Construcción	ALK
Deuterium	COLOMBIA	2025	FID/Construcción	ALK
Producción de biometano e hidrógeno a partir de biomasa.	COLOMBIA		FID/Construcción	Biomasa con CCUS

*Nota.* La tabla presenta un análisis de proyectos de hidrógeno en Colombia que se encuentran en la etapa de FID (Decisión Final de Inversión) o en estado de construcción. Se detallan tres proyectos: “Protium” con fecha de 2023 y “Deuterium” con fecha de 2025, ambos utilizando tecnología ALK, y un proyecto de “Producción de biometano e hidrógeno a partir de biomasa” que emplea biomasa con captura y utilización de carbono (CCUS).

**Tabla 12***Proyectos en Colombia en Estado operativo*

Nombre del proyecto	País	Datos	Estado	Tecnología
Electrolizador Ecopetrol 50kW	COLOMBIA	2022	Operacional	PEM
Promigas	COLOMBIA	2022	Operacional	PEM
Autobús de Hidrógeno SITP	COLOMBIA	2023	Operacional	PEM

*Nota.* La tabla resume los proyectos operacionales concernientes a la producción de hidrógeno en Colombia. Se especifica el nombre de cada proyecto, su ubicación en Colombia, el año de registro de los datos, el estado operacional y la tecnología utilizada. La tabla incluye los proyectos “Electrolizador Ecopetrol 50kW”, “Promigas” y “Autobús de Hidrógeno SITP”, todos ellos basados en la tecnología PEM (membrana de intercambio de protones).

**6.1.2.1 Ecopetrol - Hidrógeno Verde en Cartagena.** En 2022, el Grupo Ecopetrol puso en marcha su primer proyecto piloto de producción de hidrógeno verde en Colombia con la instalación de un electrolizador de tecnología PEM (Proton Exchange Membrane) de 50 kilovatios y 270 paneles solares en la Refinería de Cartagena.

Este piloto, que se desarrollará durante tres meses, emplea aguas industriales de la refinería para generar diariamente 20 kg de hidrógeno verde de alta pureza (99.999%). El proyecto busca recopilar datos clave sobre la operación, mantenimiento, confiabilidad y escalabilidad de la tecnología utilizada. Al concluir esta fase en la refinería, se prevé continuar con nuevas pruebas en otras instalaciones del Grupo Ecopetrol.

El propósito central del piloto es analizar la viabilidad técnica y ambiental de la producción de hidrógeno verde en la Refinería de Cartagena, así como evaluar el impacto en el consumo de insumos como agua y energía eléctrica. Además, el hidrógeno verde generado contribuirá a mejorar la calidad de los combustibles producidos en la refinería, reemplazando parcialmente el hidrógeno gris utilizado actualmente.

El 2 de diciembre del 2024, la Presidencia de la República comunica que el Grupo Ecopetrol iniciará la producción de hasta 800 toneladas anuales de hidrógeno verde, lo que lo posicionará entre los principales generadores internacionales de este combustible limpio. Este nuevo proyecto, también ubicado en la Refinería de Cartagena, contempla la construcción de la planta de hidrógeno verde más grande de América Latina, con una inversión de US\$28,5 millones y un electrolizador de 5 megavatios.

La planta funcionará con energía renovable generada por la Granja Solar de 22 MW de la misma refinería, y producirá hidrógeno verde con una pureza del 99,97%, integrándose al sistema de hidrotratamiento de combustibles. Con esto, se estima una reducción de hasta 7.700 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales.

Este avance representa un salto significativo en la hoja de ruta hacia la descarbonización y está alineado con la Estrategia 2040 de Ecopetrol, que busca alcanzar una producción de hasta un millón de toneladas de hidrógeno de bajo carbono para ese año, distribuidas en un 40% verde, 30% azul y 30% blanco. Además, contempla la instalación de 1 a 3 GW en capacidad de electrolizadores, el desarrollo de una flota de hasta 3.500 vehículos con celdas de hidrógeno, y una expectativa de generación de entre US\$400 y US\$485 millones de EBITDA promedio anual al 2040.

**6.1.2.2 Proyecto de Hidrógeno Azul en Barrancabermeja.** El Proyecto de Hidrógeno Azul desarrollado por Ecopetrol en la Refinería de Barrancabermeja representa una apuesta estratégica por la transición energética y la descarbonización industrial en Colombia. El hidrógeno azul se produce mediante el proceso de reformado con vapor de gas natural (SMR, por sus siglas en inglés), que genera hidrógeno a partir del metano, liberando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) como subproducto. Sin embargo, a diferencia del hidrógeno gris, este proyecto incorpora un sistema de

captura y almacenamiento de carbono (CCUS) que permite retener hasta el 60-70% del CO<sub>2</sub> emitido, reduciendo considerablemente su impacto ambiental.

Técnicamente, el sistema cuenta con una planta de reformado que opera a altas temperaturas (alrededor de 800-1,000°C) y presiones elevadas, optimizando la conversión del gas natural en una corriente rica en hidrógeno. El CO<sub>2</sub> generado es separado utilizando tecnologías de absorción con solventes químicos y posteriormente se comprime para su inyección en formaciones geológicas subterráneas seguras.

Este proyecto, que inició operaciones en su fase piloto en 2023, tiene una capacidad inicial de producción de aproximadamente 1,500 Nm<sup>3</sup>/hora de hidrógeno, el cual se utiliza internamente en los procesos de refinación, especialmente en el hidrot ratamiento de combustibles, mejorando su calidad y reduciendo contenido de azufre. Además, su implementación contribuye al cumplimiento de los objetivos del Plan Nacional de Hidrógeno, que busca posicionar a Colombia como líder regional en producción y exportación de hidrógeno bajo en carbono.

En conjunto, este desarrollo fortalece la cadena de valor del hidrógeno en Colombia y establece un precedente para futuros proyectos a escala industrial, tanto en el ámbito del hidrógeno azul como en el avance hacia tecnologías de hidrógeno verde con fuentes renovables.

**6.1.2.3 Grupo Energía Bogotá (GEB) y Promigas.** Además del liderazgo de Ecopetrol en el desarrollo de hidrógeno en Colombia, otras compañías del sector energético como el Grupo Energía Bogotá (GEB) y Promigas han iniciado importantes iniciativas orientadas al despliegue de tecnologías de hidrógeno bajo en carbono, en línea con los objetivos del Plan Nacional de Hidrógeno y la transición energética del país.

El Grupo Energía Bogotá (GEB) ha enfocado sus esfuerzos principalmente en el desarrollo del hidrógeno verde, a partir de fuentes renovables como la energía solar y eólica. En 2022, la

compañía realizó estudios técnicos y económicos para evaluar la viabilidad de implementar procesos de electrólisis utilizando tecnologías como los electrolizadores alcalinos y los de membrana de intercambio de protones (PEM). Estos estudios contemplaron la estimación de costos nivelados de producción de hidrógeno, con metas de alcanzar valores competitivos por debajo de 2 USD/kg en el mediano plazo. Asimismo, GEB ha explorado la posibilidad de utilizar el hidrógeno como vector energético en el sector transporte y en la industria, así como su inyección en redes de distribución de gas natural mediante mezclas controladas (blending), evaluando la compatibilidad de materiales, los riesgos operativos y los estándares de seguridad aplicables.

Por su parte, Promigas ha adoptado una estrategia dual, desarrollando proyectos tanto de hidrógeno azul como de hidrógeno verde. En el ámbito del hidrógeno verde, la empresa implementó un proyecto piloto en Cartagena, basado en un sistema de electrólisis alimentado por energía solar, con una capacidad inicial de producción de 50 kilogramos diarios de hidrógeno. Esta iniciativa permite analizar parámetros operativos, eficiencia energética, y viabilidad de escalamiento industrial. Adicionalmente, Promigas ha desarrollado estudios sobre la posibilidad de inyectar hidrógeno en sus redes de transporte de gas natural, considerando mezclas de hasta el 20% en volumen, en concordancia con normativas internacionales como ISO/TR 15916 y EN 16726. En cuanto al hidrógeno azul, la empresa analiza su producción a partir de gas natural con sistemas de captura y almacenamiento de carbono (CCUS), en un esfuerzo por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a sus operaciones.

Ambas compañías también investigan opciones de almacenamiento de hidrógeno comprimido, en rangos de presión entre 350 y 700 bar, con aplicaciones potenciales en movilidad sostenible, particularmente en el transporte pesado y en operaciones industriales. Tanto GEB como Promigas participan activamente en espacios de coordinación institucional y técnica, aportando al

diseño del marco normativo, técnico y de mercado necesario para consolidar al hidrógeno como un vector clave en la transición energética de Colombia.

**6.1.2.4 Interconexión Eléctrica S.A. (ISA):** Filial del Grupo Ecopetrol y líder en transmisión de energía eléctrica en América Latina, ha iniciado un proceso de investigación y desarrollo enfocado en el hidrógeno verde, como parte de su estrategia de descarbonización, innovación y diversificación energética. A través de sus filiales y alianzas estratégicas, ISA busca posicionarse como un actor clave en la infraestructura para la producción, transporte y almacenamiento de hidrógeno renovable.

El enfoque principal de ISA se basa en el desarrollo de proyectos de electrólisis alimentados por energías renovables, utilizando tecnologías como los electrolizadores PEM (Proton Exchange Membrane), que permiten una respuesta dinámica a la intermitencia de las fuentes solares y eólicas. La compañía ha identificado zonas con alto recurso renovable como La Guajira, el Cesar y el Magdalena Medio, con factores de planta solar superiores al 23% y disponibilidad eólica superior al 35%, ideales para la instalación de plantas híbridas solar-eólica conectadas a sistemas de electrólisis.

Los estudios de prefactibilidad técnica realizados por ISA incluyen: Modelos de producción horaria de hidrógeno en función de la variabilidad de la generación renovable; Análisis de demanda de agua desmineralizada, estimando consumos de 9 a 10 litros por kilogramo de hidrógeno producido, considerando tecnologías de tratamiento de agua por ósmosis inversa; Cálculo del costo nivelado del hidrógeno (LCOH), con proyecciones entre 2.5 y 3.0 USD/kg en escenarios iniciales, y menores a 2.0 USD/kg con escalamiento y mejora en la eficiencia de los electrolizadores (>70% HHV) y Estudios de almacenamiento en tanques presurizados (350 a 700

bar) y análisis de posibilidad de conversión a amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) como vector logístico para exportación.

ISA también está evaluando el desarrollo de infraestructura de acoplamiento energético, integrando el hidrógeno a sistemas eléctricos y gasíferos mediante conceptos como power-to-gas (P2G) y power-to-liquid (P2L). Esto incluye el uso de hidrógeno para generar combustibles sintéticos o para ser mezclado con gas natural (hasta 15-20%  $\text{H}_2$  en volumen) en redes de transporte y distribución, bajo normas internacionales como la ISO 14687 y la IEC 62282.

Desde el punto de vista de la red, ISA explora el papel del hidrógeno como medio de almacenamiento de energía estacional, ofreciendo respaldo a sistemas eléctricos interconectados, así como su posible implementación en microrredes aisladas en zonas rurales o no interconectadas del país. También participa en estudios prospectivos para la creación de corredores de exportación de hidrógeno verde, interconectando zonas de alta producción renovable con puertos estratégicos como Cartagena y Buenaventura.

ISA colabora activamente en mesas de trabajo con el Ministerio de Minas y Energía, la UPME, y organismos internacionales como el Hydrogen Council y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), en el diseño de la hoja de ruta regulatoria, técnica y financiera para viabilizar la adopción del hidrógeno como nuevo eje del sistema energético colombiano.

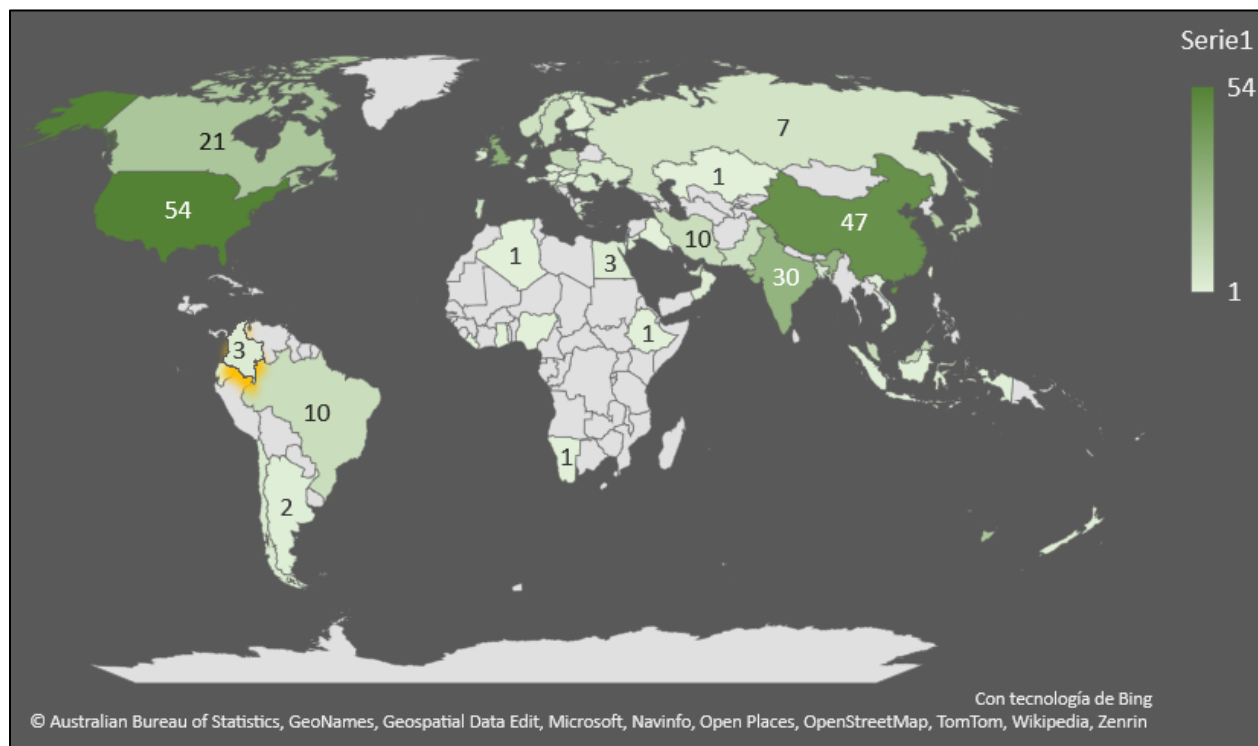
## **6.2 Conexión de las investigaciones entre países**

La investigación en tecnologías de hidrógeno se centra en desarrollar procesos más eficientes, sostenibles y económicos para su producción, almacenamiento y uso, con el objetivo de impulsar la transición energética global. Entre las áreas más innovadoras destacan la electrólisis avanzada, que divide el agua en hidrógeno y oxígeno usando energía renovable, con mejoras en electrodos y membranas para aumentar la durabilidad y reducir costos, incluso utilizando agua de

mar. También se exploran tecnologías disruptivas como la electrólisis desacoplada para obtener hidrógeno de alta pureza y la pirólisis de biogás para producir hidrógeno sin emisiones de CO<sub>2</sub>. Además, avances en fotoelectrolizadores modulares y fotosíntesis artificial buscan aprovechar la luz solar directamente para generar hidrógeno verde sin necesidad de energía eléctrica externa. Estas investigaciones integran materiales avanzados y sistemas innovadores que prometen mejorar la eficiencia y viabilidad del hidrógeno como vector energético clave en la descarbonización

### Figura 36

*Mapa de Distribución de Artículos por País*

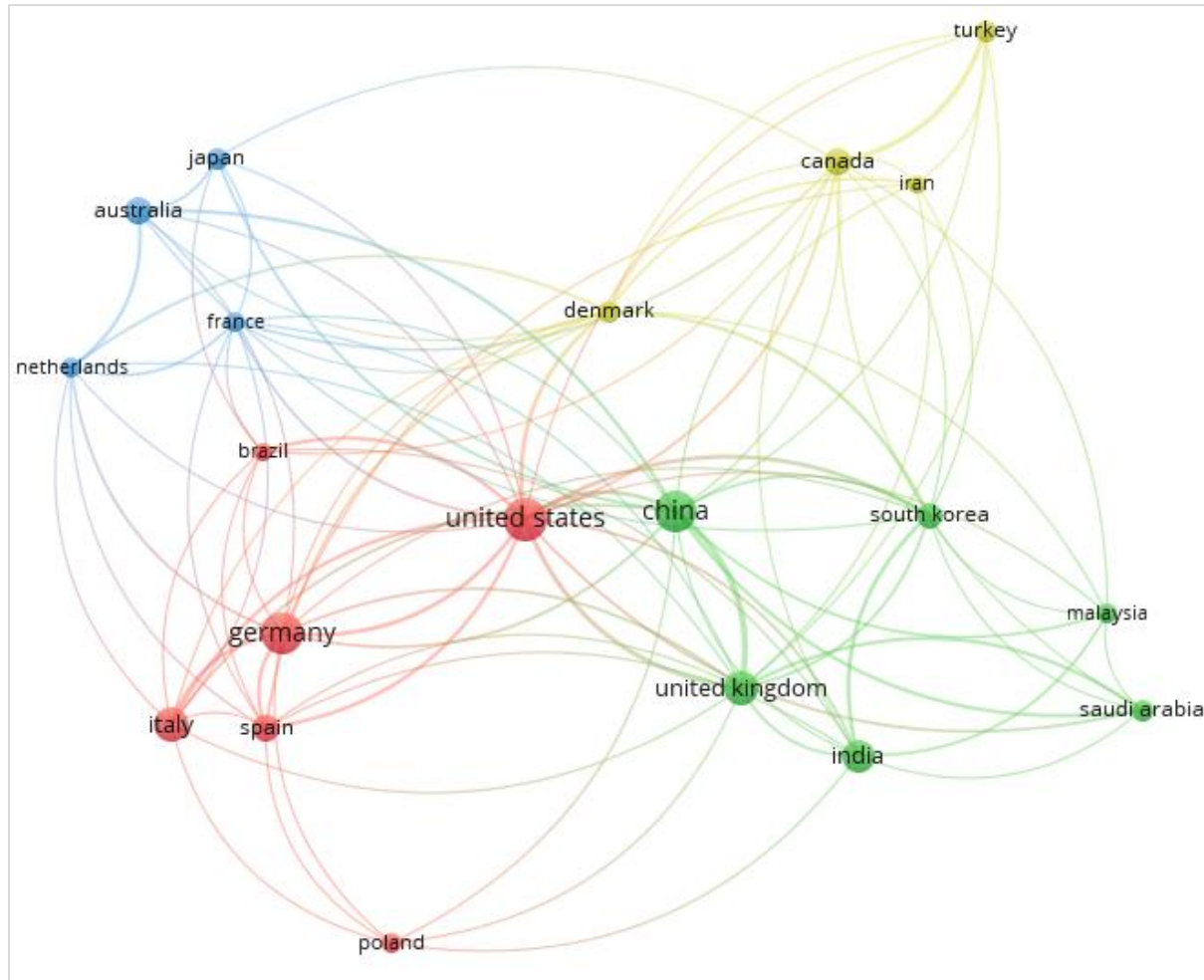


*Nota.* En el mapa de distribución de artículos por países, podemos identificar cuáles son los países con mayor experiencia en investigación, destacando a naciones como Estados Unidos, Canadá, China, India y Brasil como potencias prometedoras en este campo. Colombia también aparece en

el mapa, aunque con una cantidad más limitada de artículos en comparación a los mencionados anteriormente.

**Figura 37**

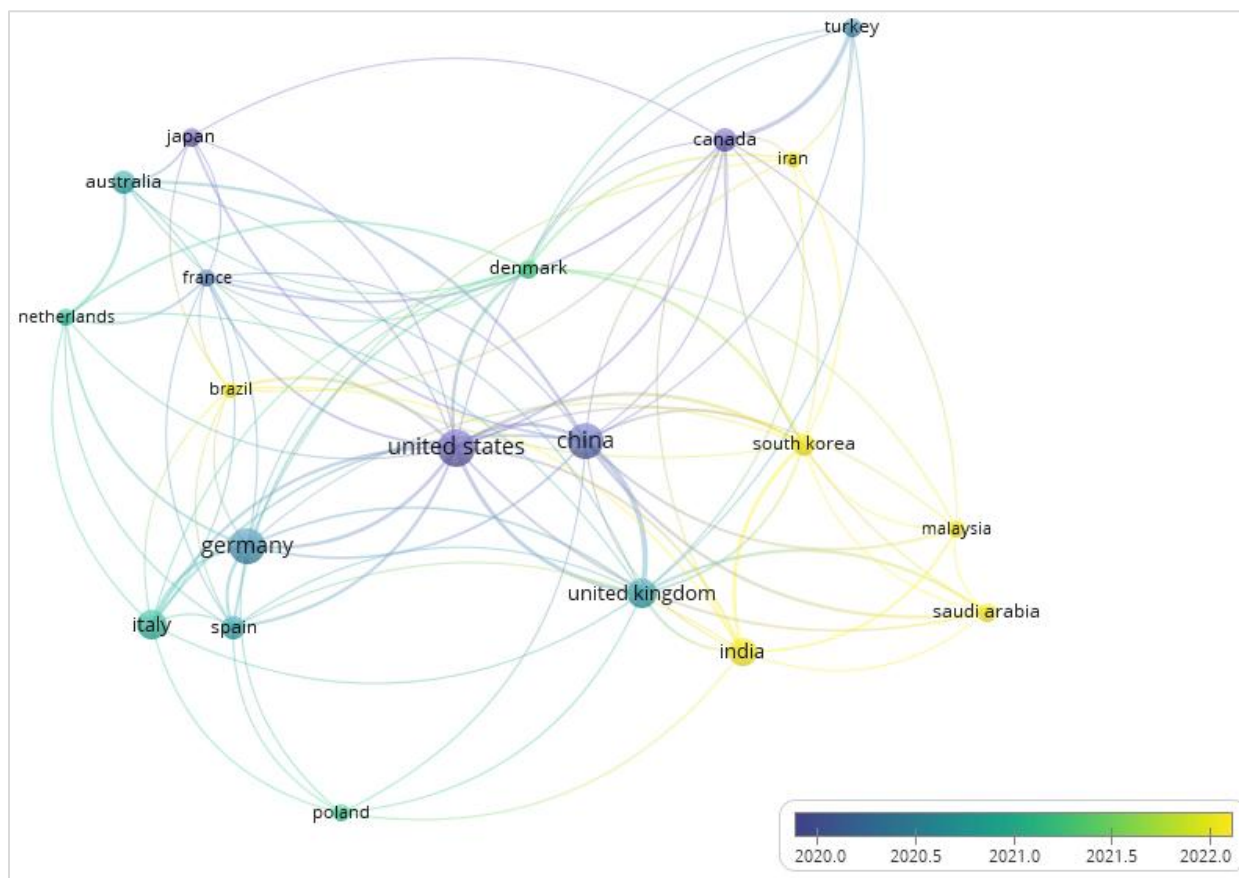
*Mapa de conexión Vosviewer de Artículos por País*



*Nota.* La colaboración entre países en el ámbito de la investigación es fundamental para fortalecer y mejorar la calidad de los futuros estudios en diversas áreas. Diversos estudios e investigaciones previas han demostrado los beneficios de la colaboración internacional, no solo en términos de avances

**Figura 38**

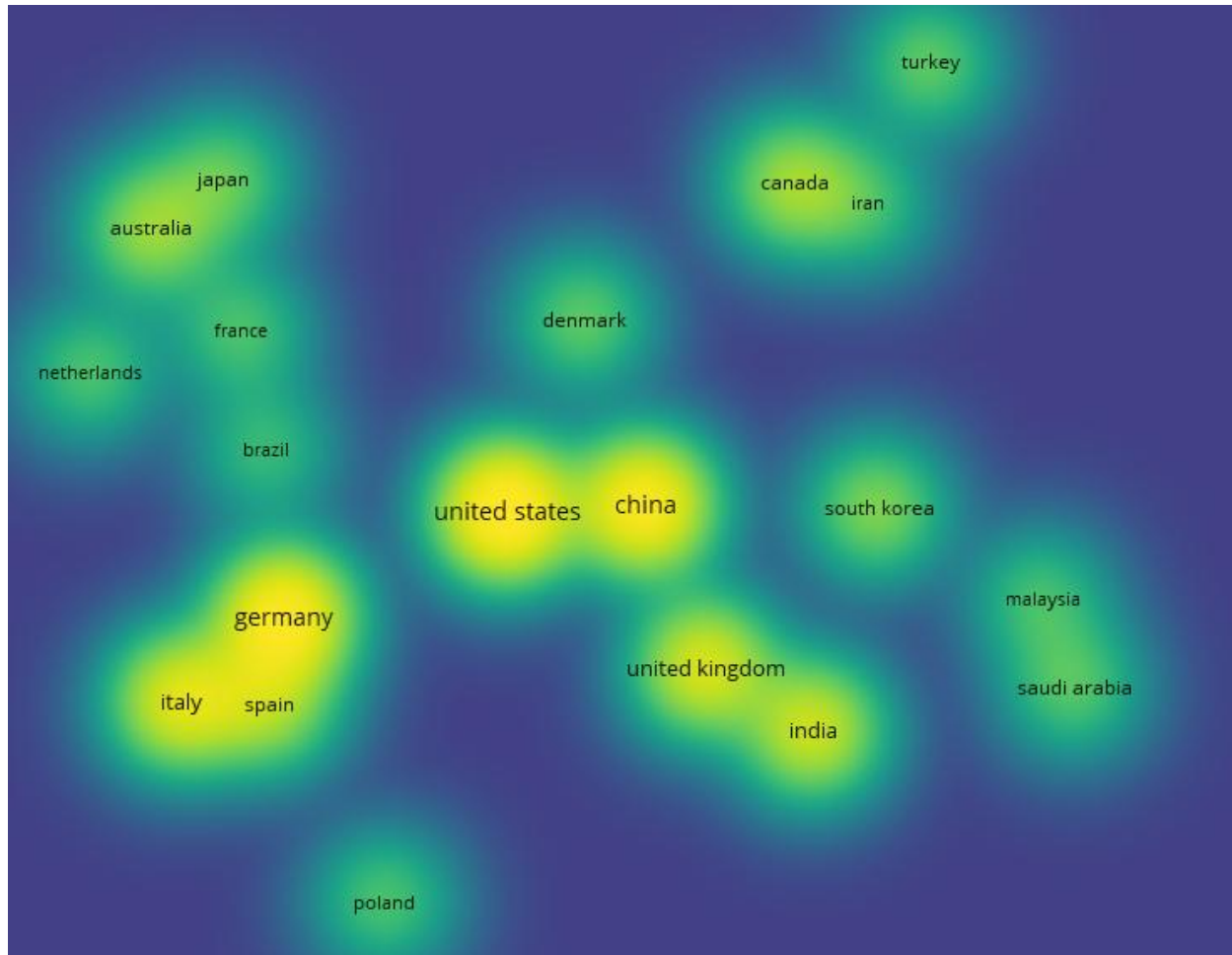
*Evolución de la conectividad entre artículos por país a lo largo del tiempo*



*Nota.* Esta visualización ayuda a identificar las regiones más densamente pobladas de la red bibliométrica, lo que puede indicar la presencia de clústeres temáticos, comunidades científicas o áreas de investigación activas. La gráfica de densidad es una herramienta útil para comprender la estructura y la distribución de la información en la red, lo que puede facilitar la identificación de patrones y tendencias en el campo de estudio analizado.

### **Figura 39**

*Distribución de Temas en la Red Bibliométrica Mapa de Densidad en VOSviewer*



*Nota.* Connected Papers es una herramienta en línea que utiliza inteligencia artificial para visualizar relaciones entre artículos científicos dentro de un campo de estudio. La plataforma permite a los usuarios explorar la literatura académica de manera interactiva y comprender cómo los diferentes documentos están conectados entre sí a través de citas y temas comunes.

### 6.3 Autores relevantes

Se emplearon diversos indicadores para evaluar tanto la conectividad y colaboración entre autores en relación con su área de conocimiento como también para explorar la relación entre diferentes temas de investigación.

Se ha observado un aumento significativo en la colaboración interinstitucional entre universidades, empresas tecnológicas y gobiernos, especialmente en proyectos relacionados con el desarrollo del hidrógeno verde. Países como Estados Unidos, China e India son líderes en esta investigación, destacándose por la cantidad y recencia de sus publicaciones.

**Tabla 13**

*Relación de bases de datos con autores, países y palabras clave*

características	VosVierwer					
	Scopus			Web of Science		
	C	N	L	C	N	L
Autores	2	23	424	1	5	342
Países	4	20	97	4	23	158
Palabras clave	4	18	116	4	16	70

*Nota.* Los indicadores que evalúan la colaboración entre autores y su conexión con un área de conocimiento suelen considerar factores como la frecuencia de coautoría, la diversidad de colaboradores y la relevancia de las publicaciones en el campo. Estos indicadores ayudaron a comprender cómo los investigadores se relacionan y contribuyen al avance del conocimiento en una disciplina específica.

En este estudio bibliométrico, los autores son figurados como nodos y las colaboraciones entre ellos como enlaces (Hasper et al., 2017). En cuanto a las redes de colaboración entre autores, Muñoz-Muñoz y Mirón-Valdivieso (2017) abordan la dinámica que se presenta cuando los investigadores colaboran y comparten autoría en artículos.

El diagrama de la red muestra los conjuntos identificados por colores que representan su similitud y relaciones entre sí, con líneas que enlazan los nodos dentro de cada conjunto y con los nodos de otros conjuntos. (McAllister et al., 2020)

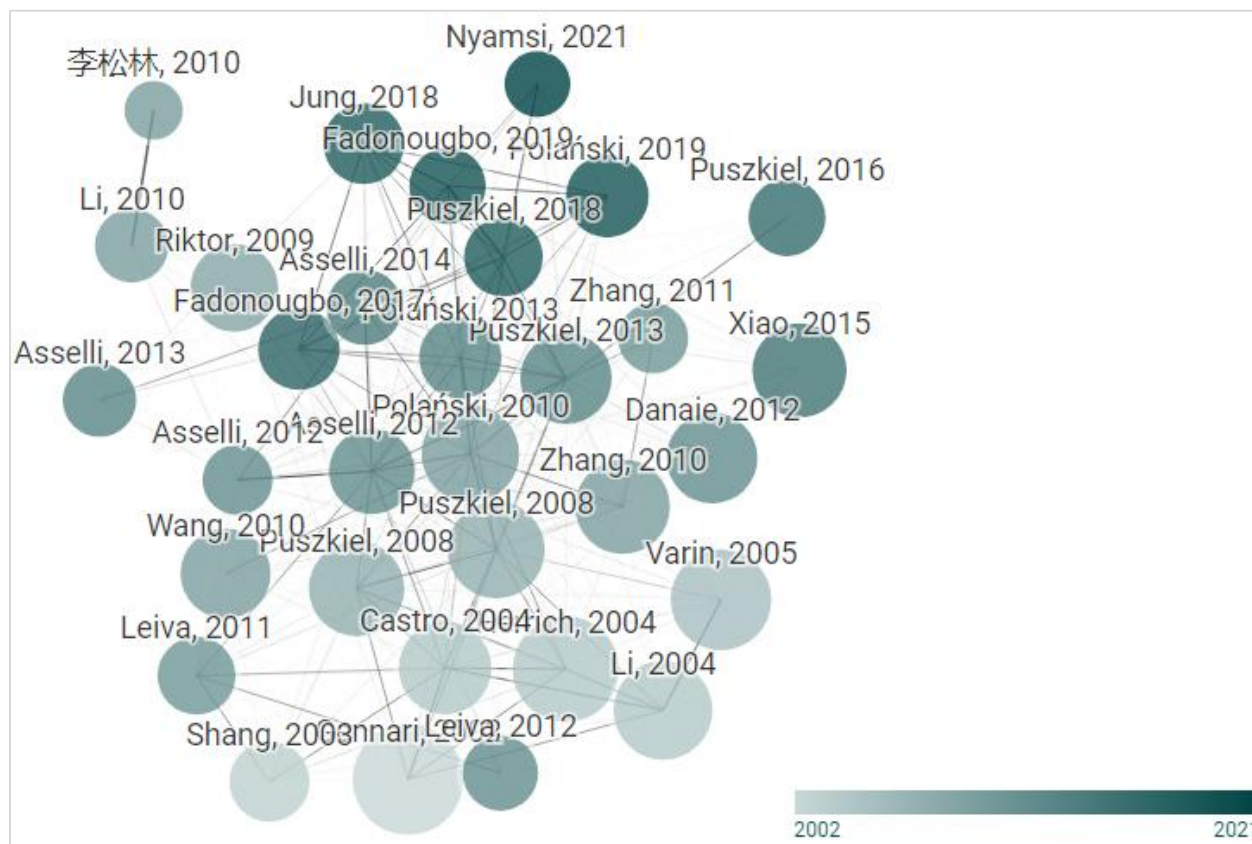
Se descubrieron 4 clusters 20 nodos con al menos 10 publicaciones y 97 enlaces entre los países. Esta red se estableció entre 2020 y 2022, como se muestra en la Figura adjunta.

Las conexiones que se generan son participaciones que se han hecho entre los países. Los clústeres en VOSviewer se generan utilizando algoritmos que detectan la densidad de conexiones entre los elementos de la red, agrupando aquellos que están más estrechamente relacionados. Esto permite identificar patrones y estructuras en la red de información, lo que puede ser útil para comprender la distribución de temas de investigación, identificar comunidades científicas o explorar la evolución de un campo académico a lo largo del tiempo.

En VOSviewer, la presencia de varios colores en un mapa bibliométrico permite a los investigadores identificar y distinguir diferentes grupos de elementos dentro de la red de información. Cada color representa un conjunto de elementos similares en términos de temas tratados, autores, citas, entre otros aspectos. A través de la visualización de colores en el mapa, se puede entender rápidamente la estructura de la red, las conexiones entre los elementos y la distribución de la información. Esta característica ayuda a los investigadores a obtener una visión general de un área de investigación, identificar temas relevantes, y descubrir colaboraciones entre investigadores.

#### **Figura 40**

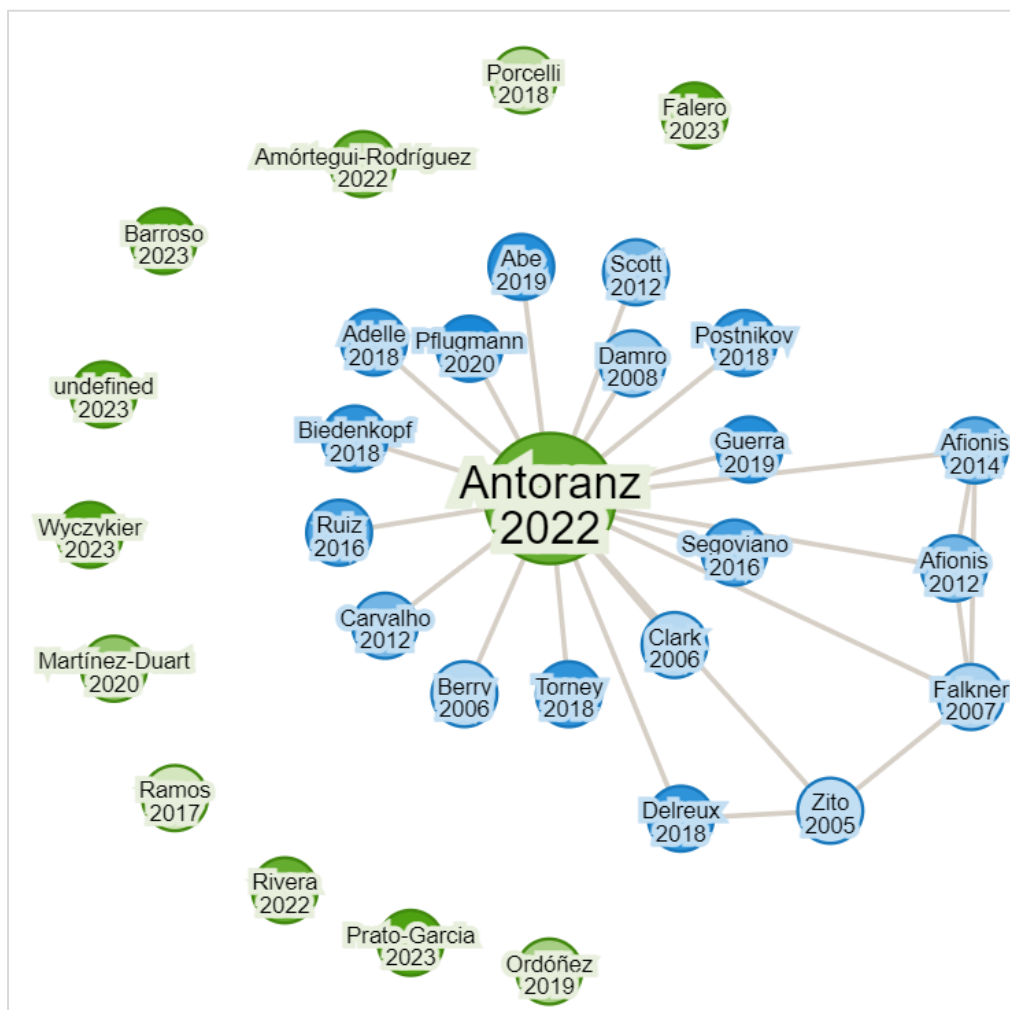
*Mapa de conexión Connected Papers de Artículos por Autores*



*Nota.* Los colores oscuros destacan los artículos más recientes, lo que permite a los usuarios identificar rápidamente las contribuciones más recientes en un campo de investigación específico. La organización de los artículos se basa en su similitud temática: aquellos que comparten temas y enfoques similares se agrupan cercanamente, mientras que aquellos que difieren más en contenido se colocan más alejados.

### **Figura 41**

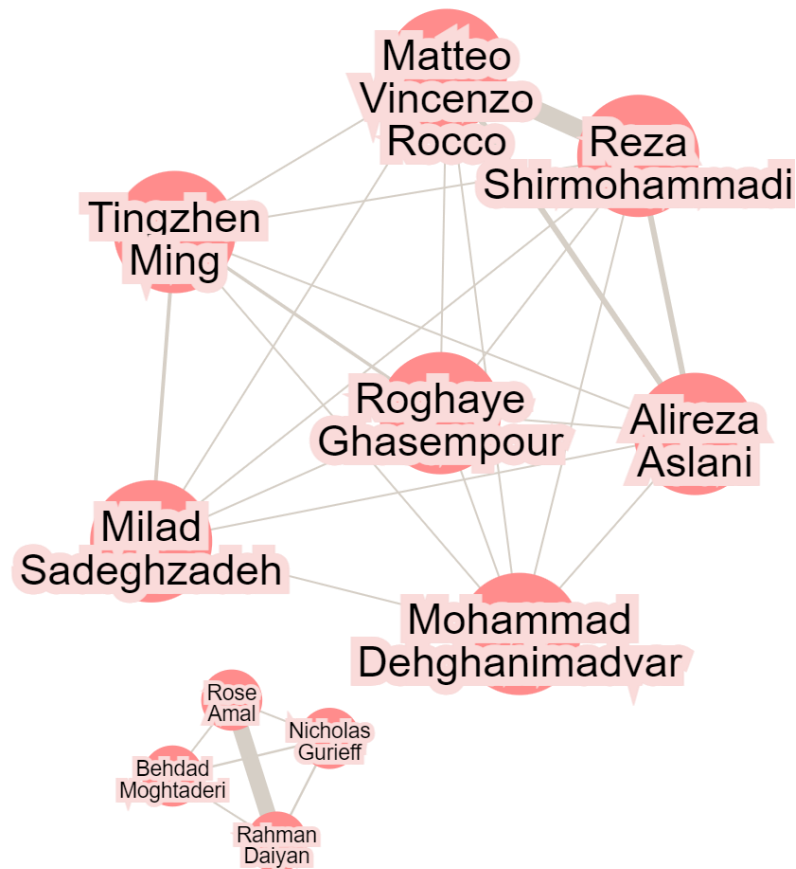
*Trabajos anteriores*



*Nota.* La herramienta clasifica a los autores mediante un sistema que visualiza las interrelaciones entre ellos, basado en sus publicaciones y citas. Esta plataforma utiliza un motor de descubrimiento que permite a los investigadores explorar conexiones entre diferentes artículos y autores, facilitando la identificación de influencias y colaboraciones en el ámbito académico.

#### **Figura 42**

*Red de interacciones entre autores*



*Nota.* Estas herramientas están diseñadas para visualizar y analizar redes de documentos científicos, facilitando la identificación de tendencias, relaciones y la estructura general de un campo de investigación.

Al igual que Connected Papers, VOSviewer y ResearchRabbit utiliza algoritmos avanzados para representar visualmente la red de documentos, donde los nodos representan documentos y las conexiones entre ellos representan relaciones basadas en la similitud de términos o citas. Además, VOSviewer también permite la visualización de redes de términos clave y autores, proporcionando una comprensión más completa del panorama académico.

## 7. Conclusiones

Se presenta en forma exacta el aporte del desarrollo del trabajo en concordancia a la justificación presentada. Se describe en forma lógica, los resultados del trabajo, dando respuesta a los objetivos o propósitos planteados. Basado en los resultados recolectados, incluido el tratamiento estadístico o cualitativo. Se muestra en forma concisa los productos y/o resultados y se resaltan las contribuciones del trabajo al contexto local, regional, nacional e internacional, cuando aplique. Tras revisar los artículos sobre tecnologías de hidrógeno en las tres bases de datos más relevantes: Web of Science, ScienceDirect y Scopus, se encontró que el 55% de los artículos sobre energía renovable de hidrógeno fueron indexados en Scopus, el 30% en ScienceDirect, y el 15% en Web of Science. Este análisis indica que Scopus es la base de datos más utilizada en este campo de estudio, lo que sugiere que es una fuente confiable y de alta relevancia para la investigación sobre hidrógeno en energías renovables.

En la revisión de la literatura sobre tecnologías de hidrógeno, se ha identificado que el 50% de los artículos analizados se centra en temas técnicos y de implementación, el 30% en sostenibilidad, y el 20% restante en políticas y aspectos económicos. Esta distribución sugiere que, al seleccionar bases de datos relevantes para la investigación sobre tecnologías de hidrógeno, es crucial considerar diferentes enfoques y áreas de interés.

En el análisis de los artículos disponibles en las bases de datos, se encontró que el 55% de los artículos sugieren mejoras en la gestión de grandes volúmenes de datos mediante el uso de tecnologías de Big Data. El 35% recomienda la mejora en la interoperabilidad de las bases de datos entre diferentes plataformas, mientras que el 10% sugiere el uso de algoritmos de inteligencia artificial para optimizar la predicción y el análisis de datos.

El interés en las tecnologías de hidrógeno ha experimentado un notable incremento en los últimos tiempos, lo cual se ha visto reflejado en el crecimiento exponencial de la cantidad de publicaciones científicas y técnicas dedicadas a este campo. El hidrógeno se ha posicionado como una alternativa energética prometedora, ya que ofrece la posibilidad de obtener energía limpia a partir de su combustión, sin generar emisiones de gases de efecto invernadero.

La producción++, almacenamiento y utilización del hidrógeno como fuente de energía requiere de conocimientos. Por esta razón, la colaboración entre diferentes instituciones y países se ha convertido en un elemento clave para avanzar en la investigación y el desarrollo de tecnologías de hidrógeno de manera efectiva.

La colaboración internacional en este campo no solo permite compartir recursos y conocimientos, sino que también facilita el acceso a infraestructuras de investigación avanzadas y a financiamiento para proyectos de gran envergadura. Además, al trabajar de forma conjunta, los investigadores pueden aprovechar la diversidad de enfoques y perspectivas para abordar de manera más eficiente los desafíos y oportunidades que presenta el desarrollo de tecnologías de hidrógeno.

la obtención de hidrógeno a partir de hidrocarburos es una herramienta importante para la producción de energía limpia y sostenible en diversos sectores. Sin embargo, es necesario considerar aspectos como la eficiencia y la sostenibilidad de los procesos de extracción para garantizar beneficios ambientales significativos. Además, es fundamental avanzar hacia fuentes de energía aún más limpias y renovables en el futuro para seguir reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático.

## 8. Recomendaciones

Ampliar el uso de herramientas TIC avanzadas: Se recomienda explorar y emplear nuevas herramientas TIC, ya que la rápida evolución de la tecnología ofrece continuamente opciones innovadoras para el análisis de datos bibliométricos. Herramientas más modernas pueden proporcionar una mayor precisión y profundización en el análisis, permitiendo identificar patrones más complejos y conexiones ocultas entre publicaciones, autores e instituciones. La incorporación de estas tecnologías podría mejorar significativamente la calidad y profundidad del estudio.

Definir y actualizar criterios de inclusión y exclusión: Es fundamental revisar y redefinir los criterios de inclusión y exclusión empleados en la investigación. Al hacerlo, se abre la posibilidad de ampliar el alcance del estudio y considerar nuevas fuentes de información que inicialmente podrían haber sido pasadas por alto. La actualización de estos criterios también puede contribuir a realizar un análisis más exhaustivo y relevante, permitiendo incorporar investigaciones de vanguardia o aquellos trabajos con enfoques novedosos. Este proceso, además, fomenta la creación de una nueva línea de investigación que puede profundizar el conocimiento en el área de estudio, abriendo puertas a nuevas perspectivas y hallazgos.

Identificar y utilizar nuevos indicadores bibliométricos: Se sugiere la identificación e incorporación de indicadores bibliométricos adicionales, más allá de los tradicionalmente utilizados, para enriquecer el análisis y facilitar la identificación de nuevas áreas de investigación. Incorporar indicadores emergentes, como los relacionados con la colaboración interdisciplinaria, el impacto social de las publicaciones o la visibilidad en plataformas digitales puede proporcionar una visión más integral del panorama científico. Esto no solo ayudará a mapear el avance en los temas existentes, sino que también permitirá detectar áreas no exploradas o en desarrollo,

promoviendo el crecimiento continuo del campo de estudio y ofreciendo nuevas oportunidades para la investigación futura.

### Referencias Bibliográficas

- ABDIN Z., Zafaranloo A., Rafiee A., Mérida W., Lipiński W., Khalilpour K. (2020). Hydrogen as an energy vector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 120. ISSN 1364-0321
- Abdalla, A., Hossain, S., Nisfindy, O., Azad, A., Dawood, M., & Azad, A. (2018). Hydrogen production, storage, transportation and key challenges with applications: A review. *Energy Conversion and Management*, 165, 602-627.
- Anon. (2019). *The Future of Hydrogen - Seizing today's opportunities - Report prepared for the G20, Japan*. International Energy Agency, June
- Arregi, A., Amutui, M., Lopez, G., Bilbao, J. Olazar, M., 2018. Evaluation of thermochemical routes for hydrogen production from biomass: A review. *Energy Convers. Manag.* 165, 696-719.
- Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2017). *Ciencia e ingeniería de materiales*. México, DF: CENGAGE learning.
- Author. VII Coloquio Internacional de Tecnologías Aplicadas a los Servicios de Información Creatividad e Innovación, in Bauste M, Rivero J, Book VII Coloquio Internacional de Tecnologías Aplicadas a los Servicios de Información Creatividad e Innovación, (Ed.)^(Eds.), Servicios Bibliotecarios de la Universidad de Los Andes-SERBIULA. Asociación Nacional de Bibliotecas, y Servicios de Información del Sector. Académico, Universitario y de investigación-ANABISAI, Mérida, Venezuela, 2006, Pages.
- Becherif, M., Ramadan, H. S., Cabaret, K., Picard, F., Simoncini, N., & Béthoux, O. (2015). Hydrogen Energy Storage: New Techno-Economic Emergence Solution Analysis. *Energy Procedia*, 74, 371-380.

- Bordons, M., Fernández, M.T. & Gómez, I. Advantages and limitations in the use of impact factor measures for the assessment of research performance. *Scientometrics* 53, 195–206 (2002).  
<https://doi.org/10.1023/A:1014800407876>
- Camps D. Estudio bibliométrico general de colaboración y consumo de la información en artículos originales de la revista *Universitas Médica*, período 2002 a 2006, *Universitas Médica* 2007; 48(4): 358-365.7.
- Camps D. Limitaciones de los indicadores bibliométricos en la evaluación de la actividad científica biomédica, *Colombia Médica* 2008; 39(1): 74-79.
- Centeno ME. Un estudio bibliométrico, de Pregrado. Escuela de Bibliotecología, Facultad de Filosofía y Humanidades. Universidad Nacional de Córdoba, España, San Salvador de Jujuy, Córdoba, España, 2005, 339p.p.
- Estrada-Lorenzo JM, Villar-Álvarez F, Pérez-Andrés C, Rebollo-Rodríguez MJ. Estudio bibliométrico de los artículos originales de la revista española de salud pública (1991- 2000). Parte segunda: productividad de los autores y procedencia institucional y geográfica, *Revista Española de Salud Pública* 2003; 77(3): doi: 10.1590/S1135- 57272003000300004.
- Fonseca Rueda, L. C. (2023) Análisis teórico de los sistemas de producción de cloro en sitio para la desinfección del agua. [Trabajo de grado, Fundación Universidad de América] Repositorio Institucional Lumieres.
- Haeseldonckx D, D'haeseleer W. The use of the natural-gas pipeline infrastructure for hydrogen transport in a changing market structure. *Int J Hydrogen*.
- Hasper, J., Correa, J., Benjumea, M., y Valencia, A. (2017). Tendencias en la investigación sobre gestión del riesgo empresarial: un análisis bibliométrico. *Revista Venezolana de Gerencia*, 22(79), 506–524.

Herstein, I. N. (1991). Topics in algebra. John Wiley & Sons.

Hydrogenics. (2018). Brochure: Renewable Hydrogen Solutions. Recuperado de:  
<http://www.hydrogenics.com/wp-content/uploads/Renewable-Hydrogen-Brochure.pdf>

IDEAM. Zonificación hidrográfica. IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/zonificacion-hidrografica>

IEA. (2019a). The Future of Hydrogen (Issue June). recuperado de: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

J. A. Sandoval y O. Castiblanco. Revisión del potencial de obtención de biohidrógeno a partir de microalgas en Colombia, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 16, no. 32, pp. 9-15, julio-diciembre 2022.

J. A. Sandoval y O. Castiblanco. Revisión del potencial de obtención de biohidrógeno a partir de microalgas en Colombia, Entre Ciencia e Ingeniería, vol. 16, no. 32, pp. 9-15, julio-diciembre 2022. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.2798>.

Jacobson, N. (2009). Basic algebra II, Mineola.

Knapp, A. W. Digital Second Editions.

Lange, J., Schulthoff, M., Puszkiel, J., Sens, L., Jepsen, J., Klassen, T., & Kaltschmitt, M. (2024). Aboveground hydrogen storage – Assessment of the potential market relevance in a Carbon-Neutral European energy system. Energy Conversion And Management, 306, 118292.

Leon-Sarmiento FE, Leon ME, Contreras VA. El impacto del factor de impacto: ¿mito o realidad? Colombia Médica 2007; 38(3): 290-296. Aleixandre-Benavent R, Valderrama-Zurián JC, González-Alcaide G. El factor de impacto de las revistas científicas: limitaciones e indicadores alternativos, El profesional de la información 2007; 16(1): 4-11.

- Liu, C., & Ali, N. L. (2022). Co-citation and bibliographic coupling based on connected papers: review of public opinion research in a broad sense in the west. *Asian Social Science*.
- López-Piñero JM, Terrada ML. Los indicadores bibliométricos y la evaluación de la actividad médico-científica. (II) La comunicación científica en las distintas áreas de las ciencias médicas, *Medicina Clínica* 1992; 98: 101-106.
- Lotka AJ. The frequency distribution of scientific productivity, *Journal of Washington Academy of Sciences* 1926; 16(12): 317-323.
- Lubotzky, A., & Meiri, C. (2012). Sieve methods in group theory I: Powers in linear groups. *Journal of the American Mathematical Society*, 25(4), 1119-1148.
- Maeda .T., Sanchez. T. V., Word. T. K., 2007 Biotechnologically relevant enzymes and proteins. *Escherichia coli hydrogenase 3 is a reversible enzyme possessing hydrogen uptake and síntesis activities.*
- McAllister, J. T., Lennertz, L., & Atencio Mojica, Z. (2022). Mapping A Discipline: A Guide to Using VOSviewer for Bibliometric and Visual Analysis. *Science & Technology Libraries*, 41(3), 319–348.
- Miralles J, Ramos JM, Ballester R, Belinchón I, Sevilla A, Moragón M. Estudio bibliométrico de la revista *Actas Dermo-Sifiliográficas* (1984-2003) II. Análisis de las referencias bibliográficas, *Actas Dermo-Sifiliográficas* 2005; 96(9): 563-571.
- Muñoz-Muñoz, A. M., y Mirón-Valdivieso, M.D. (2017). Analysis of collaboration and co-citation networks between researchers studying “violence involving women”. *An International Electronic Journal*, (Vol. 22, Número 2). Thomas D. Wilson. 9 Broomfield Road, Broomhill, Sheffield, S10 2SE, UK.

- Penfold. W. D., Forster. F. C., Macaskie. E. L 2003. Increased hydrogen production by *Escherichia coli* strain HD701 in comparison wild-type parent strain MC4100. *Enzyme and microbiol technology* 33: 185-189.
- Price DJ. A general theory of bibliometric and other cumulative disadvantage processes, *Journal of American Society of Information Sciences* 1976; 27(5): 292-306.
- PROMIGAS, (2017). Intercambiabilidad de Gas. Foro de Operaciones de Gas. QUARTON, C. J., & Samsatli, S. (2020). Should we inject hydrogen into gas grids? Practicalities and whole-system
- Rotman, J. J. (2012). *An introduction to the theory of groups* (Vol. 148). Springer Science & Business Media.
- Rueda-Clausen Gómez CF, Villa-Roel Gutiérrez C, Rueda-Clausen Pinzón CE. Indicadores bibliométricos: origen, aplicación, contradicción y nuevas propuestas, *MedUNAB* 2005; 8(1): 29-36.
- Ruiz et al-Marin, A., Canedo-López, Y. & Chávez-Fuentes, P. Biohydrogen production by *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus obliquus* immobilized cultivated in artificial wastewater under different light quality. *AMB Expr* 10, 191 (2020).
- Terrada ML, López-Piñero JM, *La producción científica española y su posición en la comunidad internacional*, ed., Espasa Calpe, Madrid, España 1991, 73-112p.
- Urbizagástegui R. La Ley de Lotka y la literatura de bibliometría, *Investigación Bibliotecológica* 1999; 13(27): 125-141.
- Valle, L. V., Vazquez, M. A. W., & Aros, E. L. A. (2021). Uso de las tecnologías de la información en los procesos decisorios: un análisis bibliométrico. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 26(93), 92-109.

- Vallejo-Ruiz M. Estudio Longitudinal De La Producción Española De Tesis Doctorales En educación Matemática (1975-2002), Tesis Doctoral. Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación. Universidad de Granada, Granada, España, 2005, 535p.p.
- Yoshida. A., Nishiamura. T., Kawaguechi. H., Inui. M and Yukawa. H. 2005. Enhance Hydrogen Production from Formic Acid by Formate Hydrogen LyaseOverexpressing Escherichia coli strains.