

Generación Sostenible de Energía Eléctrica y Combustible Verde.



Análisis de la generación de Energía Eléctrica y Combustible Verde a Partir del Flujo de Vapor y Gas en el Proceso de Recobro de Hidrocarburos Pesados: Una Revisión bibliométrica.

Jhon Alexander García Arana

Hercen Jair Castro Panchano

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

mayo de 2025

Generación Sostenible de Energía Eléctrica y Combustible Verde.

Análisis de la generación de Energía Eléctrica y Combustible Verde a Partir del Flujo de Vapor y Gas en el Proceso de Recobro de Hidrocarburos Pesados: Una Revisión bibliométrica

Jhon Alexander García Arana

Hercen Jair Castro Panchano

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor(a)

Hugo Alejandro Muñoz Bonilla

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

NRC

Mayo de 2025

Generación Sostenible de Energía Eléctrica y Combustible Verde a Partir del Flujo de Vapor y Gas en el Proceso de Recobro de Hidrocarburos Pesados en Colombia

Contenido

1. Introducción.....	9
2. Planteamiento del problema	11
2.1. Descripción del problema.....	11
2.2. La pregunta de investigación.....	12
2.3. Los objetivos de investigación	12
2.3.1. Objetivo general.....	12
2.3.2. Objetivos específicos	12
2.4. Justificación de la investigación.....	13
3. Marco de referencia	15
3.1. Marco de Antecedentes	15
3.2. Marco Teórico	19
3.2.1. Generación de Energía Eléctrica a partir de Vapor y Gas	19
3.2.2. Producción de Combustible Verde	22
3.3. Recobro de Hidrocarburos Pesados.....	24
3.4. Marco conceptual	27
3.4.1. Hidrocarburos pesados.....	27
3.4.2. Recobro térmico.....	27
3.4.3. Sostenibilidad en la Industria Petrolera	28
3.4.4. Energía Eléctrica.....	28
3.4.5. Generación de energía eléctrica	28
3.4.6. Fuentes de energía eléctrica	29
3.4.7. Vapor.....	29
3.4.8. Gas Natural	29
3.4.9. Hidrógeno Verde.....	30
3.4.10. Electrólisis.....	30
3.4.11. Energía Alternativa	30
3.5. Marco normativo	30
4. Metodología.....	32

Generación Sostenible de Energía Eléctrica y Combustible Verde a Partir del Flujo de Vapor y Gas en el Proceso de Recobro de Hidrocarburos Pesados en Colombia

4.1.	Tipo de investigación	32
4.2.	Método de recolección de información	33
4.3.	Descripción de procedimientos	34
4.4.	Análisis de información	40
4.5.	Consideraciones éticas	41
5.	Resultados.....	42
5.1.	Análisis de búsqueda.....	42
5.1.1.	Cantidad de documentos analizados por año entre 2020 y 2025	43
5.1.2.	Análisis de documentos investigador por autor	44
5.1.3.	Análisis de documentos investigados por afiliación.....	46
5.1.4.	Análisis de documentos investigados por País	47
5.1.5.	Análisis de documentos investigados por área temática.....	48
5.1.6.	Análisis de documentos por fuentes de financiación.....	50
5.2.	Análisis VOSviewer.....	51
5.2.1.	Análisis VOSviewer por autores.....	51
5.2.2.	Análisis VOSviewer por palabras clave.	52
6.	Conclusiones.....	54
7.	Referencias	56

Generación Sostenible de Energía Eléctrica y Combustible Verde a Partir del Flujo de Vapor y Gas en el Proceso de Recobro de Hidrocarburos Pesados en Colombia

Índice de tablas

Tabla 1. Marco Normativo.....	30
Tabla 2. Ecuaciones de Búsqueda.....	33

Generación Sostenible de Energía Eléctrica y Combustible Verde a Partir del Flujo de Vapor y Gas en el Proceso de Recobro de Hidrocarburos Pesados en Colombia

Índice de figuras

Figura 1. Análisis de búsqueda.	42
Figura 2. Análisis de documentos investigador por autor.	44
Figura 3. Análisis de documentos investigados por área temática.	48
Figura 4. Análisis de documentos por fuentes de financiación.	50
Figura 5. Análisis VOSviewer por autores.	51
Figura 6. Análisis VOSviewer por palabras clave.....	52

Generación Sostenible de Energía Eléctrica y Combustible Verde a Partir del Flujo de Vapor y Gas en el Proceso de Recobro de Hidrocarburos Pesados en Colombia

Resumen

La investigación se centra en la generación sostenible de energía eléctrica y combustibles verdes a partir de los flujos de vapor y gas generados en el recobro de hidrocarburos pesados. Se busca optimizar procesos productivos para minimizar el impacto ambiental, especialmente la reducción de emisiones de CO₂. La inyección de vapor es un método clave en la recuperación de hidrocarburos, pero presenta pérdidas energéticas y genera grandes volúmenes de gas residual, que en muchos casos se desperdician. El estudio propone aprovechar estos flujos residuales para generar energía eléctrica, lo que permitiría reducir costos operativos, mejorar la eficiencia energética y contribuir a la circularidad de los procesos industriales. Además, se plantea el uso de fuentes de energía renovables y combustibles verdes como parte de una transición energética responsable. La investigación abarca disciplinas como ingeniería eléctrica, ciencia de materiales, análisis económico y ambiental, y emplea métodos como simulación cualitativa, análisis documental y evaluación experimental. Se busca recopilar datos cuantitativos y cualitativos sobre la cantidad de vapor y gas generados, su potencial energético, y los beneficios económicos y ambientales de su aprovechamiento.

Palabras clave: generación sostenible de energía, Combustible Verde, hidrocarburos, reducción de emisiones de CO₂.

Generación Sostenible de Energía Eléctrica y Combustible Verde a Partir del Flujo de Vapor y Gas en el Proceso de Recobro de Hidrocarburos Pesados en Colombia

Abstract

The research focuses on the sustainable generation of electric power and green fuels from steam and gas flows generated in the recovery of heavy hydrocarbons. It seeks to optimize production processes to minimize environmental impact, especially the reduction of CO₂ emissions. Steam injection is a key method in hydrocarbon recovery, but it presents energy losses and generates large volumes of residual gas, which in many cases are wasted. The study proposes taking advantage of these residual flows to generate electricity, which would reduce operating costs, improve energy efficiency and contribute to the circularity of industrial processes. It also proposes the use of renewable energy sources and green fuels as part of a responsible energy transition. The research encompasses disciplines such as electrical engineering, materials science, economic and environmental analysis, and employs methods such as qualitative simulation, documentary analysis and experimental evaluation. It seeks to collect quantitative and qualitative data on the amount of steam and gas generated, their energy potential, and the economic and environmental benefits of their utilization.

Keywords: sustainable energy generation, Green Fuel, hydrocarbons, reduction of CO₂ emissions

1. Introducción

Dentro del entorno industrial, una de las bases para el desarrollo de esta era ha sido la utilización de energía a través de la explotación de recursos como el petróleo, entre otros, sin embargo, se reconoce el impacto que esto ha generado al ecosistema y al medio ambiente. Para ello, se ha empezado a convertir aquellos procesos que generan afectación directa al medio ambiente, para evitar un mayor daño, a la atmosfera, a los recursos hídricos, a la fauna y flora.

Ante esta oportunidad de mejorar los procesos para hacerlos sostenibles y amigables con el medio ambiente, se desarrollan alternativas que permitan aprovechar los recursos disponibles como el vapor y el gas residual generados por algunos procesos industriales y transformarlos en energía limpia y sostenible. Cabe mencionar que, la generación de energía limpia y sostenible a través de flujos permite una independencia de los combustibles fósiles, lo que contribuye significativamente a disminuir el impacto climático, así como la conservación de los recursos no renovables y a desarrollar los procesos industriales de manera sostenible.

Asimismo, entre la conversión y adaptación de los procesos eco-amigables se han logrado encontrar diferentes alternativas que promueven a la conservación del medio ambiente para la generación de energía eléctrica, así como combustible verde, el cual es generado a través del flujo de vapor y gas a través de recobro de hidrocarburos pesados, lo que permite una gran alternativa para la reducción de las emisiones de CO₂.

El objetivo de esta investigación es caracterizar las diferentes fuentes de energía renovable que se pueden impulsar por medio del uso de los flujos residuales de vapor y gas en el

proceso de recobro mejorado de hidrocarburos pesados en Colombia. A través de una revisión documental, se pretende analizar los diferentes tipos de tecnologías existentes para la reducción de las emisiones de CO₂, aprovechando el caudal residual de los fluidos como el gas y el vapor de agua, por la utilización de fuentes de energía renovables como los combustibles verdes para promover la sostenibilidad, es una de las apuestas de esta investigación, buscando el camino hacia una transición energética responsable.

Cabe mencionar que la presente investigación pretende abarcar diferentes disciplinas, desde ciencia de los materiales, así como ingeniería eléctrica, permitiendo conocer los diferentes tipos de petróleos utilizados para la recuperación de hidrocarburos pesados para la producción, considerando características específicas de cada yacimiento, composición, condiciones, temperatura, entre otras.

El interés principal de esta investigación es la cogeneración de energía eléctrica obtenida de vapor y gas en campos petroleros y el aprovechamiento de estos para otros usos como la generación de combustibles no fósiles y otras fuentes de energía diferentes a las ya conocidas. La problemática específica para analizar es la ineficiencia en el aprovechamiento de estos subproductos energéticos y su impacto al medio ambiente, por lo tanto, se buscará recopilar datos cuantitativos y cualitativos sobre la cantidad de vapor y gas generados, su potencial energético, los beneficios económicos y ambientales de su aprovechamiento (Repsol, 2024).

2. Planteamiento del problema

2.1. Descripción del problema

Según Garay (2022) la industria del petróleo ha sido catalogada como un gran motor económico a nivel mundial, sin embargo, está presentando dificultades para aliviar la demanda que presenta el entorno energético con respecto a su impacto ambiental, abriendo espacio para una transición energética y descarbonización de la economía mundial.

Cabe mencionar que, en Latinoamérica, países como Venezuela, Colombia y Brasil, entre otros, tienen procesos de extracción de hidrocarburos como los crudos pesados, en donde, estos procesos generan un considerablemente exceso de consumo de energía y emisiones de contaminantes como la inyección de vapor, el cual es un proceso usado para la recuperación de hidrocarburos pesados, representa una oportunidad para optimizar los procesos y reducir la dependencia histórica de las fuentes de energía convencionales, debido al alto consumo energético de esta técnica que ha limitado su sostenibilidad a largo plazo.

Además, en Colombia, existen varias regiones en el país en donde es alta la actividad de extracción petrolera, lo que son ideales para realizar el estudio de cómo se genera la energía a partir del vapor y gas natural, y su impacto en los procesos mejorado de los hidrocarburos. Específicamente en Puerto Boyacá, la cual cuenta con una estructura energética establecida, esta podría tener procesos en los cuales se pueda aprovechar las diferentes alternativas que podrían mejorar las condiciones operativas y disposición del flujo de vapor y gas.

2.2. La pregunta de investigación

¿Cuáles son las alternativas para la generación de combustible verde a partir del flujo de vapor y gas residual en el proceso de recobro mejorado de hidrocarburos pesados para generar energías renovables en Colombia?

2.3. Los objetivos de investigación

2.3.1. *Objetivo general*

Caracterizar las diferentes fuentes de energía renovable que se pueden impulsar por medio del uso de los flujos residuales de vapor y gas en el proceso de recobro mejorado de hidrocarburos pesados.

2.3.2. *Objetivos específicos*

- Comparar las diferentes alternativas existentes para la generación de energía eléctrica a partir del flujo de vapor y gas residual en el proceso de recobro de hidrocarburos pesados con otras fuentes de energía renovable.
- Evaluar el potencial energético inmerso en los flujos de vapor y gas, siguiendo una métrica que permita cuantificar el poder calorífico recuperable en términos de kilovatios /día en Colombia.
- Identificar un sistema específico que aproveche eficientemente el flujo de vapor y gas en Colombia, cumpliendo con la demanda en términos del potencial energético estimado.

2.4. Justificación de la investigación

Caracterizar las diferentes fuentes de energía renovable permite un análisis a las diferentes alternativas para generar energías que no contaminen el medio ambiente, así como impulsar el uso de estas evitando el continuo uso de los hidrocarburos pesados en Colombia, lo que permite visualizar todas las alternativas sostenibles para el aprovechamiento de los residuos generados por las industrias, dándoles la oportunidad de aprovechar estas nuevas tecnologías, implementarlas y poder contribuir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, así como la contribución que realiza el gobierno a las empresas que aplican a sus procesos modelos sostenibles.

Con respecto al análisis de las alternativas de generación de energía eléctrica a través de medios sostenibles, permite focalizar esos métodos como una alternativa aplicable a los diferentes tipos de sectores industriales, lo cual brinda grandes beneficios organizacionales, así como una disminución en los impuestos por parte del gobierno nacional como incentivo para realizar este tipo de cambios. Este tipo de descuentos en los impuestos se logran visualizar directamente en la declaración de renta, puesto que, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2024), el cual menciona que, los descuentos tributarios pueden ascender hasta un 50% del valor de la inversión del proyecto sostenible, lo cual puede ser deducido durante los próximos 15 años ,así como el impuesto a la renta del 25% por conceptos de conservación y medio amiento del medio ambiente. Entonces, para las empresas, establecer procesos sostenibles, no solo proyecta sus objetivos al cuidado del medio ambiente, sino también, brinda beneficios tributarios.

Por otra parte, caracterizar las diferentes fuentes de energía renovable permiten generar una conciencia colectiva desde el entorno académico y científico sobre las tecnologías que favorecen a la conservación del medio ambiente, lo que puede generar a futuro diferentes investigaciones referente a estas tecnologías adaptadas a diferentes procesos dentro del entorno industrial, brindando una base solida para el inicio de estos.

Además, haciendo énfasis al entorno específico de la investigación, la generación local de energía eléctrica puede beneficiar a las comunidades cercanas al Campo Jazmín al proporcionar una fuente confiable de electricidad, reduciendo la dependencia de la red eléctrica convencional puede tener implicaciones económicas positivas a largo plazo para la región, por lo cual este proyecto brinda oportunidades de formación y aprendizaje para estudiantes e investigadores interesados en energías renovables, ingeniería, ciencias aplicadas y puede generar una fuente de consulta para la colaboración entre universidades, empresas y entidades gubernamentales que fortalezca la investigación interdisciplinaria.

3. Marco de referencia

3.1. Marco de Antecedentes

Con respecto al análisis de las energías renovables, Oriols (2024) realizó una investigación que tiene como objetivo crear una planta fotovoltaica que no solo produzca electricidad, sino que también genere hidrógeno verde, en donde, la idea es ofrecer una solución sostenible a los retos energéticos que enfrentamos hoy, integrando fuentes de energía renovable. El público objetivo incluye tanto al sector industrial como a instituciones públicas y privadas que están interesadas en la transición energética y en la descarbonización de la economía. La metodología que siguieron se basa en un enfoque técnico y en la viabilidad económica, analizando cómo se puede obtener hidrógeno verde a través de la electrólisis del agua, utilizando la energía generada por una planta solar fotovoltaica. También se evaluó la capacidad de almacenamiento y distribución de este recurso energético. Para lograrlo, empleamos herramientas de diseño y simulación energética que nos permiten calcular el tamaño óptimo de los paneles solares, los electrolizadores y el sistema de almacenamiento de hidrógeno. Además, se realizó un análisis de viabilidad económica que considera los costos de instalación, operación y el potencial de ingresos por la venta de energía excedente. Entre los hallazgos más destacados, se concluye que la combinación de la planta fotovoltaica y la producción de hidrógeno verde es viable tanto técnica como económicamente, lo que representa una alternativa sostenible que ayuda a reducir significativamente las emisiones de carbono y a avanzar hacia un modelo energético más limpio y autosuficiente. También se observa un alto potencial de rentabilidad

gracias al aprovechamiento de la energía excedente y al creciente interés en el mercado del hidrógeno como fuente limpia y renovable.

Además, Ramos y Montenegro (2012) realizaron una investigación que tiene como objetivo analizar cómo se produce y consume la energía eléctrica en México, con la meta de proponer un plan de crecimiento que satisfaga la demanda energética futura de manera sostenible. El público objetivo incluye tanto al sector industrial como al residencial y comercial, además de los productores independientes de energía. La metodología utilizada se basa en un enfoque descriptivo y analítico, que abarca la recopilación de datos estadísticos sobre la capacidad instalada y la producción de electricidad en el país, considerando diversas fuentes de energía como las termoeléctricas, hidroeléctricas, geotérmicas y eólicas. Para obtener la información, se consultaron informes técnicos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), datos oficiales del gobierno y análisis sobre la capacidad instalada por tecnología, así como estudios sobre el consumo en diferentes sectores. Los resultados más destacados indican que, para diciembre de 2011, la capacidad instalada en México era de 52.5 GW, generando 254.7 TWh anuales, siendo las termoeléctricas la principal fuente de generación con un 45.1%, seguidas por las hidroeléctricas con un 21.9% y un menor aporte de energías renovables como la geotermia y la eólica, además, se observó un aumento en la participación de productores independientes, quienes son responsables del 31.24% de la generación nacional.

Asimismo, Gómez y Muñiz (2024), realizaron una investigación que tiene como objetivo analizar el desarrollo y el potencial del hidrógeno verde como un elemento clave para lograr la autosuficiencia energética en México, aprovechando sus recursos renovables, como la energía solar y eólica. Este estudio está dirigido a sectores gubernamentales, empresariales y

académicos, con un enfoque especial en el Tecnológico Nacional de México (TecNM), que lidera proyectos alineados con la agenda 2030 de la ONU para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La metodología utilizada se basa en un enfoque descriptivo y exploratorio, analizando el estado actual de las tecnologías de hidrógeno, sus métodos de producción y sus posibles aplicaciones en movilidad, producción química y mezcla con gas natural. Los instrumentos empleados incluyen análisis documentales, estudios de caso y evaluaciones técnicas sobre la producción y almacenamiento de hidrógeno. Entre los hallazgos más destacados, se resalta el gran potencial de México para producir hidrógeno verde a través de la electrólisis del agua, utilizando energías renovables, lo que podría contribuir de manera significativa a la reducción de emisiones y a la transición energética del país, además, se identifican desafíos en el almacenamiento y transporte, así como la necesidad de colaboración entre sectores para fortalecer la infraestructura y fomentar un modelo energético sostenible y descarbonizado.

No obstante, Jiménez et al. (2023), elaboraron una investigación que tiene como objetivo analizar la producción científica relacionada con combustibles y vectores energéticos, enfocándose en el hidrógeno verde como una alternativa viable para descarbonizar la economía y avanzar hacia energías más limpias. Se investiga su producción a través de la electrólisis del agua utilizando fuentes renovables. La investigación está dirigida principalmente a sectores industriales y académicos interesados en energías renovables y sostenibilidad. Para llevar a cabo este análisis, se utilizó un enfoque bibliométrico sobre 906 artículos científicos extraídos de la base de datos Scopus, abarcando el periodo de 2015 a 2023. Se emplearon herramientas como *VOSviewer* y *ScienceScape* para identificar co-ocurrencias, co-citaciones y emparejamientos

bibliográficos, lo que facilitó la creación de redes de autores y agrupaciones temáticas relacionadas con la producción, los procesos y las aplicaciones del hidrógeno verde. Entre los hallazgos más destacados, se observa un crecimiento constante en las publicaciones científicas sobre este sector energético, organizadas en tres áreas principales: energías renovables y combustibles fósiles, producción y aplicación del hidrógeno verde, y fuentes de energía renovable. Se identifican oportunidades significativas para mejorar la eficiencia y rentabilidad de su producción, así como desafíos en el almacenamiento y transporte del hidrógeno, que son esenciales para su integración en sistemas energéticos sostenibles. Además, se destaca el potencial de países como México para desarrollar esta tecnología, aunque su representación en la producción científica internacional sigue siendo baja.

Además, Guastay (2020) realizó una investigación que tiene como objetivo analizar cómo se puede aprovechar la energía hidráulica para generar electricidad, considerándola una estrategia fundamental para el desarrollo industrial en Ecuador. Se resalta su papel importante en la transformación de la matriz energética del país, así como su contribución al desarrollo sostenible y a la reducción de emisiones contaminantes. El público objetivo abarca tanto a los sectores industriales y energéticos del país como a las instituciones gubernamentales y privadas involucradas en proyectos de energías renovables. La metodología empleada incluyó una revisión exhaustiva de documentos de fuentes nacionales e internacionales, además de artículos científicos publicados en bases de datos especializadas. Se adoptó un enfoque integral para analizar la infraestructura existente, los proyectos en curso y los planes futuros de desarrollo hidroeléctrico en Ecuador. Para recopilar información, utilizaron documentos oficiales, informes de organismos nacionales y estudios de caso sobre proyectos específicos, enfocándose en la

capacidad instalada, los convenios internacionales y los avances tecnológicos en la producción de energía renovable. Los resultados más destacados muestran que Ecuador tiene un papel significativo a nivel global en la generación de energía hidroeléctrica, ocupando el quinto lugar en el mundo en este sector, lo que ha permitido un ahorro considerable en el consumo de combustibles fósiles, un aumento en la capacidad de generación eléctrica y una disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que fortalece la industria nacional y promueve un desarrollo económico más limpio y sostenible.

Cabe resaltar que, según Ramírez (2017) la comparación de los efectos ambientales asociados a la incineración de residuos (*waste to energy*) con las alternativas de reciclaje. Este autor menciona que el modelo planteado mediante la dinámica de sistemas, se valida confrontando con la información que se tiene en Colombia sobre los residuos de envases plásticos. Para abordar esta problemática, el autor Ramírez (2017) emplea la dinámica de sistemas como herramienta de modelado. Su enfoque se centra en validar el modelo mediante datos específicos de Colombia relacionados con los residuos de envases plásticos. A través de la simulación, evalúan cinco indicadores ambientales clave. Los resultados revelan que, en ciertos escenarios, la incineración de residuos puede favorecer estos indicadores.

3.2. Marco Teórico

3.2.1. Generación de Energía Eléctrica a partir de Vapor y Gas

Según Rodríguez et al. (2014), el análisis de ciclo de vida (ACV) es una herramienta sumamente valiosa que nos permite evaluar y comparar el impacto ambiental de la generación de electricidad a partir de diferentes fuentes. Cabe mencionar que el bagazo de caña se presenta

como una alternativa viable y sostenible, especialmente si lo comparamos con el uso de fuel oil en las centrales termoeléctricas. Este estudio resalta que el ACV es importante para identificar los efectos ambientales en cada etapa del ciclo de vida del producto, desde la extracción de la materia prima hasta su consumo final, lo cual es fundamental para proponer mejoras en el proceso productivo, además, se enfatiza que generar electricidad a partir de bagazo de caña ayuda a reducir las emisiones contaminantes, promoviendo un modelo energético más limpio y sostenible, entonces, es esencial considerar no solo los costos económicos, sino también los impactos ambientales al planificar la energía, así, el ACV se convierte en una herramienta clave para optimizar los procesos industriales y fomentar prácticas energéticas más respetuosas con el medio ambiente (Rodríguez et al., 2014).

Por otro lado, Ulloa et al. (2022) destacan que la cogeneración eléctrica a través de turbinas de gas es una estrategia sumamente eficiente para optimizar la producción simultánea de electricidad y calor, especialmente en la provincia de Manabí, Ecuador. Según los autores, este modelo de cogeneración permite un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, lo que reduce las pérdidas y maximiza la eficiencia operativa (Ulloa et al., 2022), además, las turbinas de gas se han consolidado como una tecnología confiable y ampliamente aceptada en el sector industrial, gracias a su capacidad para operar con diversas fuentes de combustible, como el gas natural y el biogás. Esta flexibilidad energética no solo ayuda a mantener la estabilidad del suministro, sino que también contribuye a disminuir las emisiones contaminantes en comparación con otros sistemas de generación térmica, entonces, se considera una opción viable y sostenible para el desarrollo energético en regiones con alta demanda industrial (Ulloa et al., 2022).

Cadena et al. (2012) destacan que aprovechar la electricidad generada a partir del biogás de los vertederos es una manera increíblemente eficiente de utilizar los residuos sólidos urbanos. Este enfoque no solo contribuye a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también juega un papel clave en la producción de energía renovable. En su estudio, los autores analizan a fondo los aspectos técnicos y normativos necesarios para establecer estas plantas, subrayando su viabilidad financiera en el contexto colombiano. También investigan la capacidad instalada de diversas tecnologías, como motores de combustión interna, ciclos combinados y microturbinas de gas, todas diseñadas para optimizar el biogás en la generación de electricidad. Además, el estudio resalta la importancia importante de las políticas regulatorias que fomentan estas fuentes de energía renovable, abriendo el camino hacia un futuro energético más sostenible y amigable con el medio ambiente.

En la misma línea, Llanos y Alexis (2020) señalan que el uso de energías renovables en Ecuador ha sido fundamental para el desarrollo industrial, lo que se debe, en gran medida, a la generación hidroeléctrica, que se ha establecido como una de las principales fuentes de energía limpia en el país. Además, los autores destacan la importancia de aprovechar recursos renovables como la biomasa y la energía solar, lo que ha permitido diversificar la matriz energética ecuatoriana y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Este enfoque, que se alinea con los principios de sostenibilidad y eficiencia energética, contribuye a construir un modelo energético más limpio y menos contaminante. Así, el uso de energías renovables no solo se presenta como una estrategia para mitigar el impacto ambiental, sino también como un elemento clave para fortalecer la competitividad industrial del país. De esta manera, Ecuador avanza hacia un modelo

energético más sostenible y resiliente, capaz de satisfacer la creciente demanda energética de forma limpia y eficiente (Llanos y Alexis, 2020).

3.2.2. Producción de Combustible Verde

La producción de combustibles verdes se presenta como una alternativa muy prometedora para abordar los desafíos energéticos y ambientales que enfrentamos hoy en día, la cual tiene un gran potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir nuestra dependencia de los combustibles fósiles (Fernández, Muñoz, y Díaz, 2022; Cancino, 2021). En este contexto, el hidrógeno verde se destaca como un vector energético clave, ya que permite almacenar y transportar energía limpia generada a partir de fuentes renovables, facilitando su uso en sectores industriales y de transporte (Jiménez, 2020). Este tipo de hidrógeno se produce mediante la electrólisis del agua, utilizando electricidad de energías renovables, lo que evita las emisiones de carbono durante su producción (Cancino, 2021). Además, su capacidad para integrarse en redes de gas natural, servir como combustible para el transporte y generar electricidad en áreas no conectadas, resalta su versatilidad y su importante contribución a la descarbonización de sectores clave (Fernández et al., 2022). Estas características hacen del hidrógeno verde un elemento fundamental en la transición energética, promoviendo un uso más eficiente y limpio de la energía renovable disponible (Zuriaga, 2021).

Por otro lado, el uso de aceites vegetales y residuos industriales para crear biocombustibles verdes se presenta como una alternativa muy prometedora para disminuir nuestra dependencia de los combustibles fósiles (de León y Sánchez, 2016). A través de procesos de catálisis mesoporosa, podemos transformar triglicéridos y fosfolípidos en combustibles limpios como el diésel verde y la gasolina verde, que tienen propiedades fisicoquímicas que se

adaptan perfectamente a los combustibles tradicionales (de León y Sánchez, 2016). Este enfoque se alinea con los objetivos de sostenibilidad, ya que no solo ayuda a reducir las emisiones de CO₂, sino que también fomenta el uso de recursos renovables y subproductos industriales para generar energía (López y Torrent, 2024). Además, la adopción de tecnologías avanzadas para capturar CO₂ y convertirlo en combustibles sintéticos utilizando hidrógeno verde representa un avance significativo hacia la neutralidad de carbono, especialmente en industrias con alta contaminación, como la del cemento (López y Torrent, 2024).

Asimismo, el panorama internacional está mostrando un creciente interés por estos avances tecnológicos, impulsados por políticas energéticas que fomentan la descarbonización y la transición hacia fuentes de energía más limpias (Zuriaga, 2021). En lugares como la Unión Europea, se han establecido metas ambiciosas para eliminar gradualmente los vehículos que funcionan con combustibles fósiles, apostando por combustibles sintéticos y biocombustibles que provienen de hidrógeno verde y CO₂ capturado (López y Torrent, 2024). Esta estrategia no solo busca combatir el cambio climático, sino también fortalecer la seguridad energética y reducir la dependencia de las importaciones de petróleo (Zuriaga, 2021). De manera similar, en países de América Latina como Colombia, se está proyectando el uso de hidrógeno verde para disminuir las emisiones en sectores como el transporte, la generación de electricidad y la refinación de petróleo crudo (Fernández et al., 2022).

A pesar de los avances que se han logrado, la producción masiva y competitiva de combustibles verdes todavía enfrenta importantes desafíos, tanto técnicos como económicos, en donde, para que la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno verde y biocombustibles sea viable, se necesita una inversión sólida en infraestructura y un marco

regulatorio que facilite su integración en los mercados energéticos globales (Zuriaga, 2021; Jiménez, 2020). Además, es fundamental reducir los costos de las tecnologías de electrólisis y captura de carbono para que los combustibles verdes puedan competir económicamente con los fósiles (Jiménez, 2020; Cancino, 2021), pero la tendencia actual sugiere que estamos avanzando en la dirección correcta hacia la adopción masiva de estas tecnologías, gracias a la disminución de los costos de las energías renovables y a la mejora en la eficiencia de los procesos productivos (Zuriaga, 2021; López y Torrent, 2024).

3.3. Recobro de Hidrocarburos Pesados

La recuperación de hidrocarburos pesados es un gran reto para la industria petrolera, principalmente debido a la alta viscosidad y densidad de este tipo de crudo, lo que complica su movilidad y extracción (Arboleda et al., 2018). Con la disminución de las reservas de petróleo convencional, se ha acelerado el desarrollo de técnicas avanzadas para recuperar hidrocarburos pesados y extrapesados. Entre estas, los métodos térmicos son especialmente relevantes, ya que calentar el crudo facilita su movimiento hacia los pozos productores al reducir su viscosidad. En este sentido, la inyección de vapor se destaca como una técnica muy utilizada; el vapor no solo actúa como un agente de desplazamiento, sino que también promueve reacciones químicas en el yacimiento que alteran la composición del crudo, disminuyendo aún más su viscosidad a través de procesos como la acuatermolisis catalítica (Arboleda et al., 2018). Esta técnica incluye reacciones de pirolisis, hidrolisis y desplazamientos químicos que optimizan la estructura molecular del petróleo, mejorando su movilidad y favoreciendo su producción (Arboleda et al., 2018).

Dentro de las técnicas térmicas, el método Toe to Heel Steamflood (THSF) se presenta como una auténtica innovación que maximiza la eficiencia en la recuperación de crudo pesado, lo que se logra mediante el uso de pozos tanto horizontales como verticales, diseñados específicamente para optimizar el drenaje del crudo y reducir al mínimo las pérdidas de energía (Aya y Navarro, 2009). Este enfoque permite un recobro más efectivo al utilizar un pozo inyector de vapor vertical junto a un pozo productor horizontal, lo que resulta en un desplazamiento de crudo más rápido y menos afectado por la alta viscosidad (Aya y Navarro, 2009). Además, las simulaciones numéricas han demostrado que la configuración de THSF mejora notablemente el factor de recobro en comparación con los métodos tradicionales, lo que resalta su gran potencial en la explotación de yacimientos profundos y de crudo extrapesado (Aya y Navarro, 2009).

El desarrollo de modelos de simulación térmica y composicional ha sido fundamental para comprender y mejorar los procesos de recobro en yacimientos de crudo pesado. Según Bueno (2019), la coinyección de vapor y gases no condensables ha demostrado ser una estrategia eficaz para aumentar el contacto entre el crudo y el vapor, optimizando así los mecanismos de transferencia de calor y ayudando a reducir la viscosidad, lo que modelos computacionales son herramientas valiosas que permiten anticipar cómo se comportará el crudo bajo diversas condiciones operativas, ajustando variables como la presión, la temperatura y la composición del vapor para maximizar el recobro (Bueno, 2019). Además, se está explorando la integración de nanopartículas y surfactantes en los procesos de recuperación mejorada, y los resultados hasta ahora son prometedores en cuanto a la optimización del flujo de hidrocarburos en medios porosos (Bueno, 2019).

Por otro lado, el uso de ondas electromagnéticas en yacimientos de crudo extrapesado se presenta como una alternativa innovadora para mejorar la recuperación en formaciones de alta densidad y baja movilidad. Cazorla (2011) menciona que la tecnología de calentamiento electromagnético aplicada en pozos horizontales puede reducir de manera significativa la viscosidad del crudo, facilitando su movimiento hacia los pozos productores. Las simulaciones realizadas muestran un aumento en la producción de hidrocarburos al emplear este método, lo que resalta su potencial para ser utilizado en yacimientos con características similares a las de la Faja Petrolífera del Orinoco (Cazorla, 2011). Además, esta tecnología se presenta como una opción viable para mejorar la recuperación en áreas donde las técnicas convencionales de inyección de vapor enfrentan limitaciones debido a pérdidas de energía y el difícil acceso al yacimiento.

Asimismo, el uso de generadores de vapor en el fondo, junto con técnicas de segregación gravitacional asistida por vapor (SAGD), marca un avance importante en la recuperación de crudo pesado en yacimientos profundos (Páez et al., 2009). Esta técnica consiste en inyectar vapor de manera continua en un pozo superior, lo que permite que el crudo pesado, al calentarse, fluya por gravedad hacia un pozo inferior, además, la implementación de esta tecnología ha mostrado resultados positivos en países como Canadá y Venezuela, y ahora se está considerando su uso en los Llanos Orientales de Colombia, donde los yacimientos profundos representan un desafío considerable para las técnicas de recobro tradicionales (Páez et al., 2009). Así, la combinación de tecnologías avanzadas y modelos de simulación sigue optimizando los procesos de recobro, haciendo posible la explotación de estos hidrocarburos pesados y extrapesados, incluso en condiciones más difíciles.

3.4. Marco conceptual

3.4.1. Hidrocarburos pesados

Los hidrocarburos pesados son bien conocidos por su alta viscosidad y densidad, lo que hace que su extracción con métodos convencionales sea bastante complicada (Speight, 2019). Esta situación ha llevado a la adopción de tecnologías de recobro mejorado (EOR, por sus siglas en inglés), como la inyección de vapor, que produce flujos secundarios significativos de vapor y gas, los cuales pueden aprovecharse para generar energía (Parra-Santos et al., 2021).

3.4.2. Recobro térmico

El recobro térmico es una de las tecnologías más relevantes en la recuperación mejorada de petróleo (EOR) que se emplean en Colombia para extraer hidrocarburos pesados (Ramírez et al., 2020). Algunos de los métodos más utilizados son:

3.4.2.1. Inyección Cíclica de Vapor

Este proceso se realiza en tres etapas: primero, se inyecta vapor en el pozo; luego, hay un período de remojo; y finalmente, se lleva a cabo la extracción. Durante este proceso, el vapor generado en la superficie se inyecta en el yacimiento durante un tiempo específico, transfiriendo calor al petróleo pesado y reduciendo su viscosidad, lo que facilita su extracción (Pérez et al., 2018).

3.4.2.2. Inyección Continua de Vapor SAGD

Este método utiliza pares de pozos horizontales. En este caso, el vapor se inyecta de manera continua en el pozo superior, creando una cámara de vapor que disminuye la viscosidad

del petróleo, permitiendo que fluya por gravedad hacia el pozo productor inferior (Gavilanez et al., 2024).

3.4.3. Sostenibilidad en la Industria Petrolera

La transición energética a nivel mundial ha generado una necesidad urgente de reducir la huella ambiental de la industria petrolera. Según la Agencia Internacional de Energía (AIE), en 2022, las actividades de extracción y procesamiento de petróleo fueron responsables de aproximadamente el 15% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero en el sector energético (Sentis, 2024). En este contexto, el término "petróleo de bajo carbono" ha cobrado relevancia, ya que se refiere a la producción de hidrocarburos con una menor intensidad de emisiones, gracias a la implementación de tecnologías que optimizan el uso de energía y reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (Martínez et al., 2020).

3.4.4. Energía Eléctrica

La energía eléctrica es una forma de energía que surge de una diferencia de potencial entre dos puntos específicos. Esta diferencia permite que se genere una corriente eléctrica cuando ambos puntos se conectan a través de un conductor adecuado, facilitando así el flujo de electrones a través del material (Balcells et al., 2010).

3.4.5. Generación de energía eléctrica

En lo que respecta a la generación de energía eléctrica, hoy en día se produce a partir de diversas fuentes que se agrupan en dos grandes categorías: renovables y no renovables. Las fuentes renovables son aquellas que son sostenibles y se regeneran de manera natural, mientras

que las no renovables provienen de recursos limitados que, una vez consumidos, no se pueden reponer rápidamente (Ramos y Montenegro, 2012).

3.4.6. Fuentes de energía eléctrica

Las principales fuentes de generación de electricidad aprovechan el movimiento rotatorio para producir energía. Este movimiento se convierte en corriente continua mediante una dinamo o en corriente alterna utilizando un alternador. Este proceso es fundamental en las plantas generadoras de energía, donde el movimiento se transforma en electricidad para el uso doméstico e industrial (Gámez et al., 2008).

3.4.7. Vapor

El vapor es una forma gaseosa del agua que se genera cuando esta alcanza su punto de ebullición o se evapora. Aunque el vapor puro no es visible, a menudo se utiliza el término para describir la neblina o el aerosol que se forma cuando el vapor se condensa en pequeñas gotas de agua suspendidas en el aire, lo cual sí se puede ver (Barcia, 2024).

3.4.8. Gas Natural

El gas natural es un combustible fósil que está compuesto principalmente por metano, aunque también contiene pequeñas cantidades de otros gases como etano, propano, dióxido de carbono, nitrógeno, ácido sulfhídrico y helio. Este recurso es muy valorado por su eficiencia energética y su menor impacto ambiental en comparación con otros combustibles fósiles (Brucart, 1982).

3.4.9. Hidrógeno Verde

El hidrógeno verde se produce a través de un proceso que utiliza energías renovables para descomponer el agua en oxígeno e hidrógeno, lo que lo convierte en una opción limpia y sostenible (Giménez, 2019).

3.4.10. Electrólisis

La electrólisis es un proceso realmente interesante que nos permite descomponer los componentes de un compuesto utilizando electricidad. Durante este proceso, los electrones son liberados por los aniones en el ánodo, lo que conocemos como oxidación, y al mismo tiempo, los cationes capturan electrones en el cátodo, un fenómeno que llamamos reducción (Laidler, 2018).

3.4.11. Energía Alternativa

La energía alternativa se refiere a métodos y técnicas para obtener energía que son diferentes de los convencionales, que generalmente dependen de la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y el gas natural. Este término suele asociarse con la búsqueda de fuentes de energía que sean menos contaminantes, pero que ofrezcan un rendimiento similar (Breceda et al., 2007).

3.5. Marco normativo

A continuación, se muestra el marco normativo referente a la generación sostenible de energía eléctrica.

Tabla 1. *Marco Normativo.*

Ámbito Legal	Descripción	Normativas Aplicables
---------------------	--------------------	------------------------------

Función Pública	Regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. (Función Pública, 2024)	Ley 1715 de 2014 (mayo 13) (Función Pública, 2024)
Función Pública	Disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético, la reactivación económica del país y se dictan otras disposiciones. (Función Pública, 2024)	Ley 2099 de 2021 (Julio 10) (Función Pública, 2024)
Función Pública	Promueve la participación de las entidades territoriales en los proyectos de generación de energías alternativas renovables y se dictan otras disposiciones (Función Pública, 2024)	Ley 2036 de 2020 (Julio 27) (Función Pública, 2024)

Fuente: elaboración propia.

4. Metodología

4.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación seleccionada para el presente es de tipo cualitativa. A través de un análisis documental, se pretende realizar una caracterización de las diferentes tipos de energías renovables que pueden generarse a través de los residuos de vapor y gas natural a través del proceso de recobro mejorado de hidrocarburos pesados. Según Sampieri (2018) este tipo de investigaciones permite analizar los diferentes tipos de fenómenos en un entorno específico, lo cual brinda una perspectiva favorable puesto que selecciona

Asimismo, esta investigación está basada en una revisión documental que abarca diversas investigaciones de plataformas científicas reconocidas como Scopus, EBSCOhost y ProQuest, con el objetivo de cumplir con los propósitos establecidos. Durante la recolección de información, se utilizaron palabras clave específicas que facilitaron la identificación de estudios relevantes en el ámbito de la energía eléctrica, la sostenibilidad y los combustibles verdes. Entre estas palabras clave se incluyeron combinaciones como "energía eléctrica" OR "sostenible" OR "combustible verde" junto con "flujo de vapor" OR "gas residual", así como también se emplearon términos como "vapor" OR "gas residual" AND "sostenibilidad" OR "energía limpia". Además, se consideraron otras combinaciones relacionadas, tales como "vapor" OR "gas" AND "alternativas" OR "usos" junto con "Ecopetrol" OR "EPM" AND "electricidad" OR "energía". Cabe mencionar que estas palabras clave permitieron un filtrado efectivo y preciso de la información necesaria para la investigación.

Para analizar la información recopilada, se utilizó un programa especializado llamado VOSviewer. Esta herramienta es fantástica para visualizar redes de datos bibliográficos y mapear las relaciones entre conceptos clave en el ámbito científico. Gracias a este software, se pudieron identificar patrones y conexiones entre los estudios seleccionados, lo que facilitó la comprensión de las tendencias en la investigación sobre energía sostenible y sus aplicaciones en la industria. Con este enfoque, no solo se logró sintetizar la información obtenida, sino también resaltar los avances tecnológicos y las oportunidades de mejora en el uso de recursos energéticos sostenibles.

4.2. Método de recolección de información

Para la recolección de la información para la revisión documental, se utilizaron en los diferentes sitios académicos palabras clave que permitieron filtrar la información y obtener la mas relevante y pertinente. A continuación se muestran las ecuaciones de búsqueda documental.

Tabla 2. Ecuaciones de Búsqueda.

Ecuación de búsqueda	Explicación	Propósito
("electrical energy" OR "sustainable" OR "green fuel") AND ("steam flow" OR "waste gas")	Busca información relacionada con generación de energía sostenible y combustibles verdes, vinculados con el uso de vapor y gas natural.	Caracterizar la generación de energía, sostenibilidad de los combustibles verdes y uso de flujos residuales en el proceso de recobro de hidrocarburos. 444 resultados
("steam" OR "waste gas") AND ("sustainability" OR "clean energy")	Relaciona casos de estudio donde se ocasione impacto ambiental por el uso de gas y vapor con energías limpias	Evaluar el impacto ambiental de la generación de energía a partir de vapor y gas residual enfocado en energías limpias. 93 resultados
("steam" OR "gas") AND ("Alternatives" OR "Uses") AND ("Ecopetrol" OR "EPM") AND ("Electricity" OR "Energy")	Focaliza el uso alternativo de los flujos residuales de vapor y gas en la industria petrolera	Investigar cómo mejorar la eficiencia energética utilizando vapor y gas. 413 resultados

Ecuación de búsqueda	Explicación	Propósito
("clean energy") OR ("hydrocarbons") OR ("emissions reduction")	Explora iniciativas para disminuir las emisiones CO2 en la industria petrolera.	Explorar estrategias para hacer sostenible la producción de hidrocarburos. 93 resultados.
("research" AND "electric power generation") AND ("steam" OR "gas") AND ("enhanced recovery" OR "cogeneration")	Identificar investigaciones relacionadas con el vapor y gas.	Obtener ejemplos prácticos o comparar resultados de otras investigaciones sobre usos del vapor y el gas. 93 resultados
("innovation" OR "alternative technologies" AND "electric power generation") AND ("steam" OR "gas")	Se centra en la búsqueda de tecnologías alternativas que puedan aplicarse a la generación de energía.	Identificar innovaciones tecnológicas que puedan mejorar la generación de energía eléctrica utilizando vapor y gas. 125 resultados.

Fuente: elaboración propia.

4.3. Descripción de procedimientos

En esta revisión documental, se implementarán estrategias avanzadas para explorar bases de datos académicas como Scopus, EBSCOhost y ProQuest. La idea es que al crear las ecuaciones de búsqueda, se utilicen operadores booleanos para maximizar la recuperación de literatura relevante. Consultar estos repositorios no requiere permisos adicionales, pero se respetarán estrictamente las normas de citación y los derechos de autor. Para asegurar una gestión eficaz de la información, se contó con la asesoría del especialista Hugo Alejandro Muñoz, quien brindó capacitación específica en el uso de Zotero para organizar la bibliografía y en el manejo de VOSviewer para el análisis bibliométrico, lo que favorece un procesamiento sistemático y detallado de los datos.

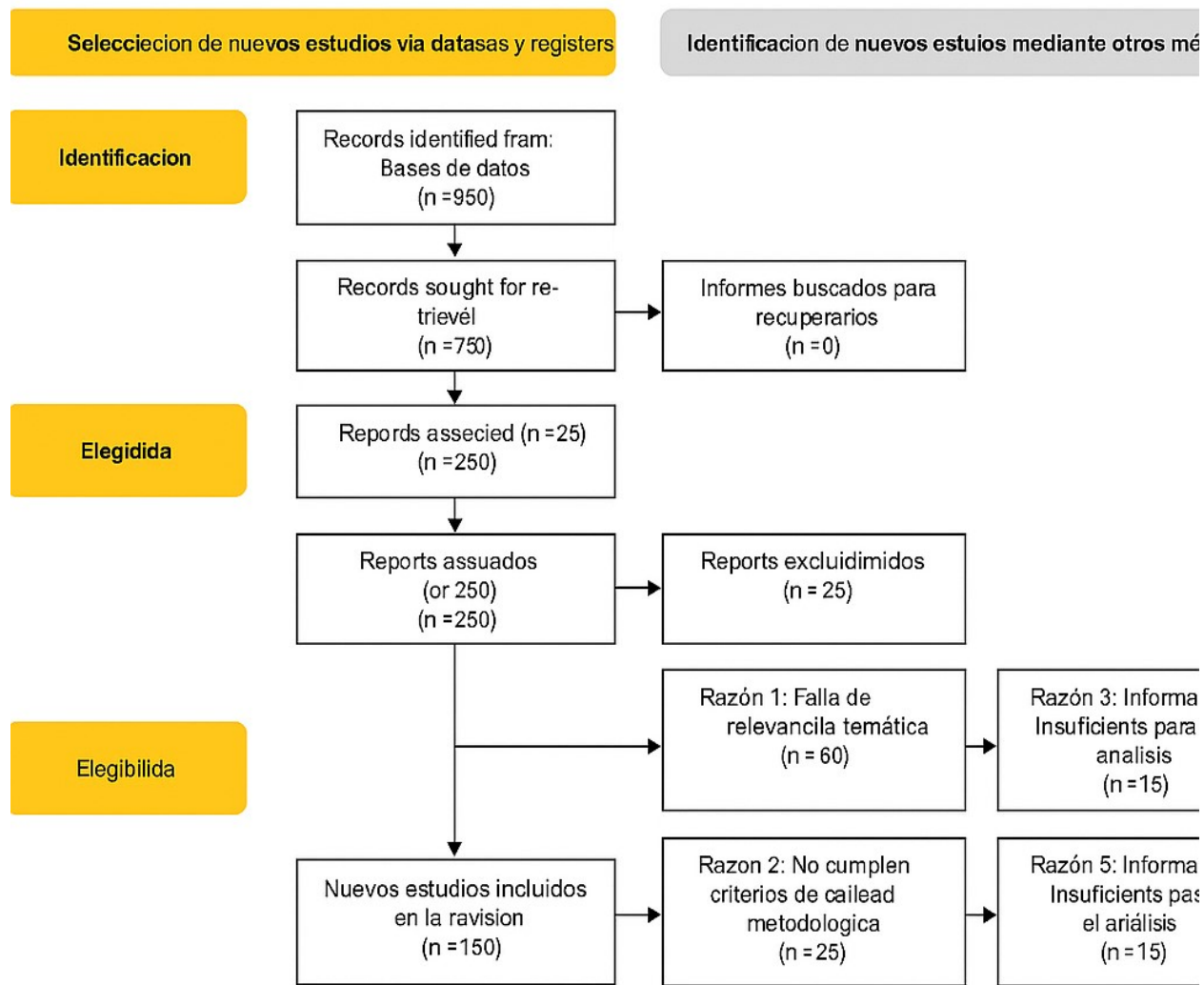
Las actividades de recolección y análisis se llevarán a cabo durante un periodo de dos meses, aprovechando los recursos digitales disponibles en la biblioteca de UNIMINUTO y las plataformas de acceso remoto. De esta manera, el uso combinado de Zotero y VOSviewer

permitirá describir de forma estructurada el panorama investigativo del área de interés, facilitando así la elaboración de un trabajo riguroso y bien fundamentado, cuya validez se basa en la integración de técnicas de búsqueda, herramientas de gestión y análisis cuantitativo de la información. Por otra parte, para la selección de los artículos a revisión, se ha tomado el Modelo PRISMA, el cual permite una transparencia y calidad en la recolección de la información.

4.4. Modelo PRISMA para selección de artículos

La selección de artículos para el análisis se llevó a cabo siguiendo el modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), que es un estándar internacionalmente reconocido para realizar revisiones sistemáticas y metaanálisis de manera clara y reproducible. Este modelo brinda un proceso bien estructurado para identificar, seleccionar, evaluar y sintetizar estudios científicos, lo que facilita la organización de la información de forma clara y verificable. A continuación, se detallan cada una de las etapas del proceso que se aplicó en esta revisión documental.

Tabla 3. *Modelo PRISMA.*



Fuente: elaboración propia.

4.4.1. Identificación

La primera etapa del modelo PRISMA se enfoca en identificar estudios que sean pertinentes para el tema de investigación. Para llevar a cabo esta revisión, se realizó una búsqueda exhaustiva en tres de las bases de datos académicas más reconocidas a nivel mundial: Scopus, EBSCOhost y ProQuest. Estas plataformas fueron elegidas por su amplio acceso a publicaciones científicas de alta calidad, lo que permite acceder a literatura revisada por pares y estudios indexados en diversas áreas del conocimiento.

Además, para recopilar la información, se emplearon ecuaciones de búsqueda detalladas que incluían términos clave como " electrical energy" OR " sustainable" OR " green fuel" y " steam flow" OR " waste gas", así como combinaciones adicionales que facilitaron un filtrado preciso de los estudios. Entre las ecuaciones más relevantes se encuentran:

- ("electrical energy" OR "sustainable" OR "green fuel") AND ("steam flow" OR "waste gas"): se identificaron 444 artículos relacionados con generación de energía sostenible y combustibles verdes.
- ("steam" OR "waste gas") AND ("sustainability" OR "clean energy"): se encontraron 93 artículos enfocados en el impacto ambiental de la generación de energía a partir de vapor y gas residual.
- ("steam" OR "gas") AND ("Alternatives" OR "Uses") AND ("Ecopetrol" OR "EPM") AND ("Electricity" OR "Energy"): se identificaron 413 artículos sobre el uso alternativo de flujos residuales en la industria petrolera.
- ("clean energy") OR ("hydrocarbons") OR ("emissions reduction"): se localizaron 93 estudios sobre estrategias para reducir emisiones en la industria energética.
- ("research" AND "electric power generation") AND ("steam" OR "gas") AND ("enhanced recovery" OR "cogeneration"): se encontraron 93 investigaciones relacionadas con recuperación mejorada y cogeneración de energía.
- ("innovation" OR "alternative technologies" AND "electric power generation") AND ("steam" OR

En total, se lograron recopilar 950 investigaciones referente a los criterios establecidos.

4.4.2. Selección

La fase de selección implicó una revisión minuciosa de los títulos y resúmenes de los 950 artículos que habíamos identificado. Este paso fue crucial para detectar aquellos estudios que no cumplían con los criterios de inclusión que habíamos establecido previamente, como investigaciones que no trataban el uso de flujos residuales de vapor y gas en procesos energéticos, estudios sobre tecnologías no sostenibles o aquellos que se enfocaban en aplicaciones industriales fuera del ámbito energético.

Después de esta revisión inicial, se eliminaron 200 artículos duplicados que estaban indexados en más de una base de datos. Luego, se llevó a cabo un análisis de relevancia temática, donde excluimos 500 artículos que no se alineaban con los criterios de selección definidos, así, la mayoría de estos artículos fueron descartados porque no se centraban en tecnologías limpias, no incluían procesos de recuperación energética o incluían temas secundarios sin una aplicación directa en el campo de estudio. Entonces, los 750 artículos que quedaron para la fase de evaluación de elegibilidad, asegurando que solo los estudios más relevantes y rigurosos desde el punto de vista científico continuaran en el proceso de revisión.

4.4.3. Evaluación de Elegibilidad

Durante la fase de evaluación de elegibilidad, llevamos a cabo un análisis detallado de los 250 artículos que seleccionamos, asegurándonos de que cumplieran con los estándares de calidad metodológica y se alinearan con los objetivos de la investigación. En esta evaluación, se logró percibir criterios como el rigor científico, la validez de los datos, la metodología utilizada y la

relevancia de los resultados presentados, también se revisaron los aspectos relacionados con la capacidad de replicar el estudio y la claridad en la presentación de los datos.

Además, gracias a herramientas especializadas como VOSviewer, se logra trazar las relaciones entre conceptos clave y evaluar el impacto bibliográfico de los estudios seleccionados, lo que permitió identificar patrones de investigación y conexiones temáticas importantes, facilitando así una revisión más estructurada y precisa de los artículos. Asimismo, durante esta evaluación, excluimos 100 artículos que no cumplían con los estándares de calidad que habíamos establecido para el análisis. Las razones específicas de exclusión se distribuyeron de la siguiente manera:

- Razón 1: Falta de relevancia temática — Se excluyeron 60 artículos que, aunque relacionados superficialmente con el tema de energía, no cumplían con los criterios de enfoque en sostenibilidad o en tecnologías de recobro mejorado.
- Razón 2: No cumplen criterios de calidad metodológica — Un total de 25 artículos presentaban debilidades en su diseño experimental, falta de validación de resultados o ausencia de replicabilidad.
- Razón 3: Información insuficiente para el análisis — Finalmente, 15 artículos no aportaban datos suficientes para un análisis estadístico robusto o carecían de información metodológica clara.

4.4.4. Inclusión

Finalmente, se seleccionaron un total de 150 estudios que cumplían con todos los criterios establecidos y fueron incluidos en la revisión sistemática, en donde estos son la base documental

que respalda el análisis crítico y el desarrollo de propuestas para el uso de flujos residuales de vapor y gas en la generación de energía sostenible. Además, la elección de estos estudios se fundamentó en su relevancia para comprender las tecnologías emergentes en la reutilización de subproductos energéticos y el avance hacia prácticas industriales más sostenibles.

4.5. Análisis de información

Para el análisis de la información, se utilizaron credenciales institucionales para entrar a artículos científicos desde la página oficial; informes técnicos y otros documentos que han sido sometidos a un exhaustivo proceso de revisión, lo que asegura que cada fuente cumpla con altos estándares de calidad y confiabilidad. La gestión de referencias se realizará a través de Zotero, donde los textos seleccionados se guardarán y organizarán en colecciones temáticas, etiquetas y categorías que facilitarán la búsqueda más adelante, además, la plataforma permite exportar metadatos en formatos RIS o CSV, lo que simplifica la integración de la base bibliográfica con herramientas de análisis posteriores. Una vez que todo esté organizado, los registros se transferirán a VOSviewer en formato RIS, incluyendo información clave como títulos, autores, revistas y años de publicación, lo que permitirá un examen sistemático de la producción científica acumulada.

Con los datos cargados en VOSviewer, se llevará a cabo un análisis bibliométrico que revelará la estructura del conocimiento en el área de estudio, lo que ayudará a identificar redes de citación, patrones de colaboración entre autores y tendencias temáticas. Los mapas resultantes mostrarán grupos de investigación influyentes y líneas emergentes, al mismo tiempo que señalarán vacíos conceptuales que pueden guiar nuevas indagaciones. Esta visualización integral

respalda la creación de un marco teórico sólido y contribuye a fundamentar la investigación documental sobre bases empíricas firmes.

4.6. Consideraciones éticas

La Generación Sostenible de Energía Eléctrica y Combustible Verde a Partir del Flujo de Vapor y Gas en el Proceso de Recobro de Hidrocarburos Pesados en Colombia, considera éticamente según (Uniminuto, 2020) y la comunidad científica en general en este proyecto de investigación documental, que a través de los principios de transparencia y ética que promueva en todos sus procesos académicos y científicos, la garantía de la veracidad y precisión de la información recopilada, evitando la manipulación de datos y asegurando que todas las fuentes sean citadas correctamente.

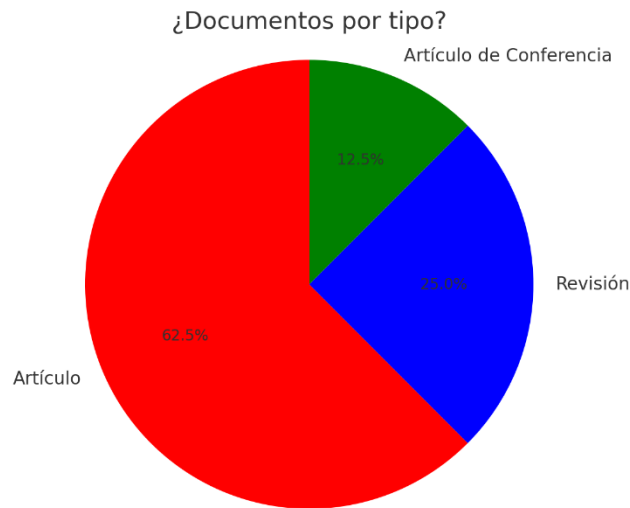
La protección de la información y derechos de autor se respetará junto a las normativas de propiedad intelectual, asegurando que los documentos utilizados en la investigación sean de acceso legítimo y que las referencias sean correctamente atribuidas (Uniminuto, 2020), además, la Integridad en el análisis y presentación de resultados seguirá los principios de actitud ética promovidos por UNIMINUTO, evitando desviaciones en la interpretación de los datos y asegurando que los hallazgos sean presentados de manera objetiva y fundamentada (Uniminuto, 2020). Teniendo en cuenta que el proyecto de investigación involucra comunidades locales, empresas y autoridades en materia del sector energético, se garantizará el respeto a la privacidad y la protección de datos personales sensibles y se promueve la participación informada de los actores involucrados, asegurando que sus objetivos sean considerados justamente.

5. Resultados

Los resultados permitirán analizar de manera integral las oportunidades, desafíos y perspectivas para la implementación de sistemas de generación sostenible de energía eléctrica y combustibles verdes a partir de los flujos de vapor y gas en procesos de recobro térmico de hidrocarburos pesados en Colombia. A continuación, el análisis de la revisión documental.

5.1. Análisis de búsqueda

Figura 1. *Análisis de búsqueda.*



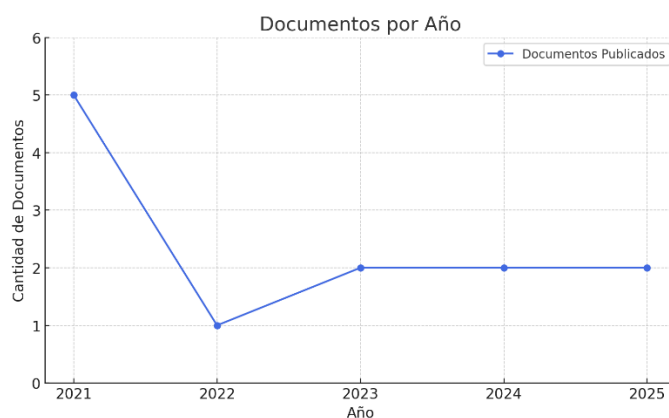
Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la figura anterior, el análisis bibliográfico revela que hay una notable predominancia de artículos científicos, que constituyen el 62.5% de las publicaciones revisadas. Esta alta proporción sugiere un fuerte enfoque en la investigación primaria relacionada con la generación sostenible de energía eléctrica y combustibles verdes a partir de flujos de vapor y gases. Este panorama indica que la comunidad académica y científica está cada vez más

interesada en desarrollar nuevas tecnologías y soluciones innovadoras para el sector energético en Colombia, especialmente en el contexto del recobro de hidrocarburos pesados, donde la optimización de procesos sostenibles se presenta como un desafío clave.

Por otro lado, un 25% de las publicaciones son revisiones sistemáticas, lo que sugiere que estamos en una fase de consolidación y maduración del conocimiento en el ámbito de las energías limpias y la sostenibilidad energética. Esta tendencia indica que muchos investigadores están comenzando a sintetizar y evaluar críticamente los avances actuales, lo que permite identificar tanto oportunidades de innovación como vacíos tecnológicos en el sector. Además, la presencia de ponencias en conferencias, que representan el 12.5% de los estudios, resalta el esfuerzo por transferir y divulgar los desarrollos científicos hacia comunidades académicas y profesionales.

5.1.1. Cantidad de documentos analizados por año entre 2020 y 2025



Fuente: elaboración propia.

Como se logra observar en la anterior figura, un pico de publicaciones en 2021 (5 documentos) seguido de una caída significativa en 2022 (1 documento) y una posterior

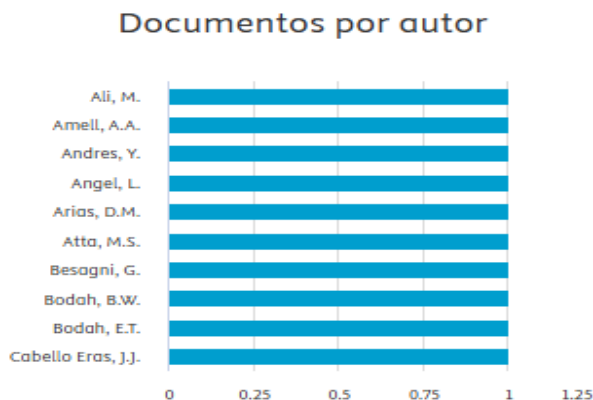
estabilización (2 documentos anuales) desde 2023 hasta 2025, lo que podría interpretarse como un interés inicial intenso que luego se ha establecido a un ritmo más constante.

La continuidad de publicaciones hasta 2025 demuestra que el tema sigue siendo de interés y relevancia. El patrón de publicaciones podría indicar una evolución desde un momento de exploración inicial (2021) hacia una fase de investigación más consolidada y específica, donde menos publicaciones abordan aspectos más concretos y profundos. El número relativamente bajo pero constante de publicaciones recientes sugiere que existe espacio para aportes significativos en este campo, especialmente en el contexto colombiano, el comportamiento de las publicaciones podría reflejar cambios en las políticas energéticas colombianas y/o en las prioridades de financiamiento de investigación. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2021).

Este análisis confirma que el tema de estudio sigue teniendo vigencia y pertinencia dentro de la investigación actual, especialmente en contextos como el colombiano donde los hidrocarburos y la sostenibilidad energética son fundamentales para el nuevo foco desarrollo económico más limpio y responsable a donde los gobiernos desean apuntar a Corto plazo, estableciendo cada día más y más proyectos enfocados al uso de tecnologías limpias alineados con las tendencias y políticas Globales. (Plan energético nacional 2020-2050).

5.1.2. Análisis de documentos investigador por autor

Figura 2. *Análisis de documentos investigador por autor.*



Fuente: elaboración propia.

La gráfica muestra que cada uno de los autores listados (Ali, M.; Amell, A.A.; Andres, Y.; Angel, L.; Arias, D.M.; Atta, M.S.; Besagni, G.; Bodah, B.W.; Bodah, E.T.; Cabello Eras, J.J.) ha publicado exactamente 1 documento relacionado con la temática, donde se puede inferir pero no afirmar con certeza, que cada uno sugiere un campo de investigación donde diversas perspectivas están siendo aportadas, sin que exista un único especialista o grupo dominante.

La distribución uniforme de publicaciones por autor puede indicar un conocimiento fragmentado donde cada investigador aborda aspectos específicos sin una integración condescendiente, este patrón sugiere que la investigación en generación sostenible a partir de flujos de vapor y gas no se encuentra concentrada en grupos de investigación dominantes si no en autores y/o entidades independientes y porque no hasta académicos, que representan un esfuerzo colaborativo amplio y descentralizado. (Rodríguez y Vega, 2020). Esta tendencia bibliométrica puede ser un llamado para que entidades académicas del país promuevan programas de investigación robustos, capaces de integrar investigadores emergentes y fortalecer la producción científica nacional en tecnologías de transición energética.

5.1.3. Análisis de documentos investigados por afiliación



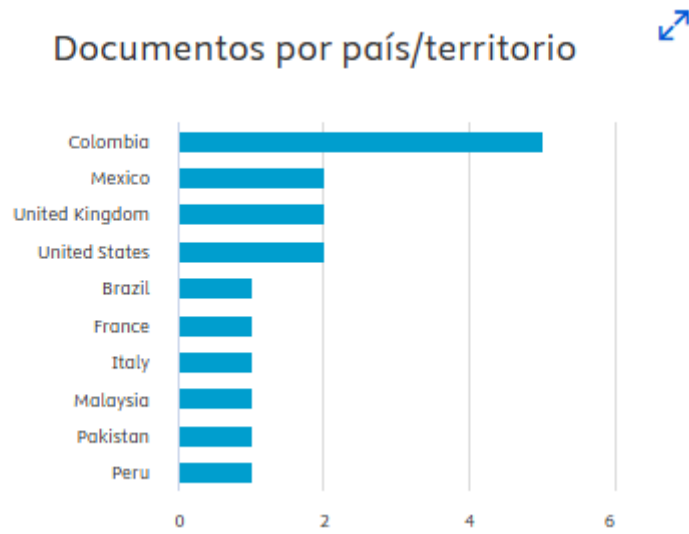
Fuente: elaboración propia.

La distribución de los documentos por afiliación refleja una diversificación institucional moderada en la producción académica relacionada con la generación sostenible de energía y combustibles verdes en procesos de recobro de hidrocarburos pesados. Aunque la Universidad de la Costa lidera en producción documental (con dos publicaciones), el resto de las instituciones participantes, tanto nacionales como internacionales, presentan una contribución más dispersa y equitativa (un documento por institución). La presencia de empresas como "Well Completion Tec..." y "Thaines and Bodah..." indica un interés del sector privado en el tema. Rueda y Sánchez, 2019).

Lo cual permitió analizar si la investigación proveniente de estas empresas se enfoca en aplicaciones prácticas, desarrollo tecnológico o evaluación económica, y cómo esto se relaciona con la investigación académica, Este análisis por afiliación proporciona una visión del panorama institucional de la investigación que nos concierne en materia energética , identificando líderes,

colaboradores potenciales y áreas donde Uniminuto podría establecer alianzas estratégicas o enfocar sus esfuerzos.

5.1.4. Análisis de documentos investigados por país



Fuente: elaboración propia.

La gráfica muestra la siguiente distribución aproximada:

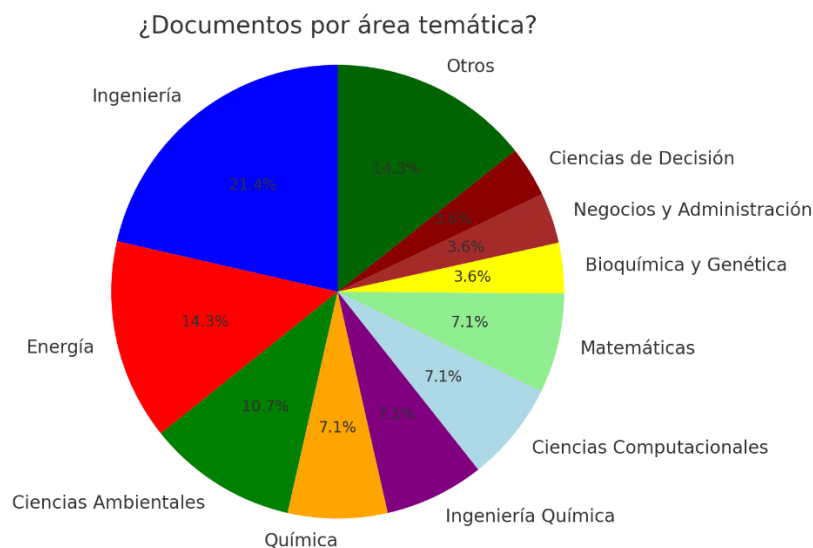
- Colombia: 5 documentos
- México, Reino Unido y Estados Unidos: 2 documentos cada uno
- Brasil, Francia, Italia, Malasia, Pakistán y Perú: 1 documento cada uno

Colombia destaca significativamente como el principal productor de investigaciones en este campo específico, lo que evidencia la relevancia nacional del tema, la presencia de investigaciones en 9 países adicionales demuestra que esta temática tiene resonancia global, aunque con un claro enfoque en el contexto colombiano, lo que sugiere su potencial aplicación en diversos entornos geográficos y geológicos.

Por su ubicación geográfica y topografía, Colombia es un país altamente vulnerable al cambio climático. El fenómeno La Niña que golpeó a 28 de sus 32 departamentos en el 2010-2011, ocasionó pérdidas equivalentes a 8,6 billones de pesos, con un costo de reconstrucción estimado de 26 billones de pesos. El 72% de los daños se concentraron en los sectores de vivienda e infraestructura que son dos de los pilares de la economía nacional. Los sistemas productivos agrícolas han sido también muy afectados, teniendo en cuenta esto Colombia se ha fijado el objetivo de lograr cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para 2050, con un objetivo intermedio de reducir las emisiones en un 51% para 2030. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020). La presencia de países productores de petróleo con reservas de crudos pesados (Colombia, México, Brasil) confirma la importancia estratégica de esta tecnología para economías dependientes de hidrocarburos que buscan transiciones energéticas sostenibles.

5.1.5. Análisis de documentos investigados por área temática

Figura 3. Análisis de documentos investigados por área temática.



Fuente: elaboración propia.

El análisis por áreas temáticas demuestra que la generación sostenible de energía a partir de flujos de vapor y gases residuales se configura como un campo de investigación eminentemente interdisciplinario, donde convergen conocimientos técnicos, consideraciones ambientales y análisis económicos. Esta naturaleza multidimensional refleja la complejidad inherente al reto de transformar procesos industriales convencionales, como el recobro de hidrocarburos pesados, en sistemas energéticamente eficientes y ambientalmente sostenibles (Rueda y Sánchez, 2019).

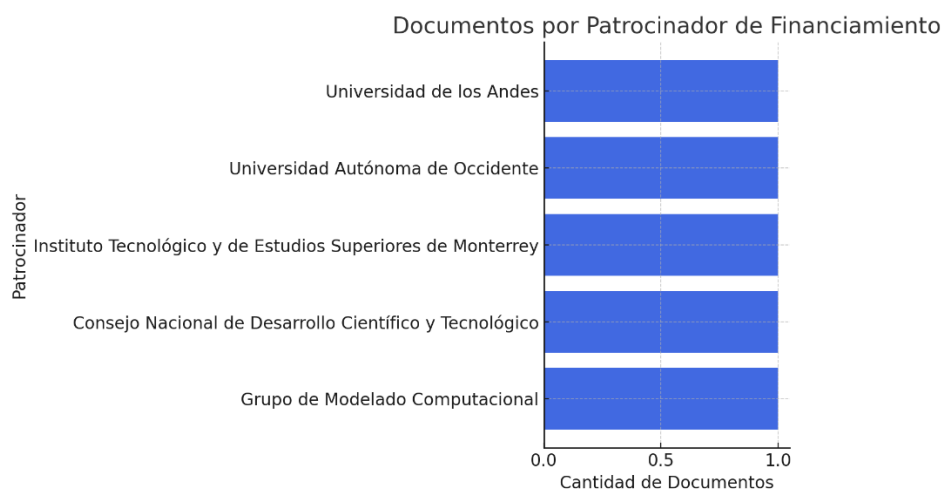
La distribución diversificada entre múltiples disciplinas confirma que el aprovechamiento sostenible del vapor y gases residuales requiere un enfoque integrador y multidisciplinario, la combinación del liderazgo de Ingeniería (21.4%) con la presencia significativa de Ciencias Ambientales (10.7%) refleja una tendencia hacia soluciones técnicamente viables pero ambientalmente responsables, estos paradigmas forman parte esencial para el desarrollo energético contemporáneo en Colombia.

La energía sostenible también impulsa la creación de empleo en sectores tales como la fabricación, instalación y mantenimiento de paneles solares y aerogeneradores. Estas industrias representan una oportunidad de desarrollo económico y generación de empleo local, especialmente en áreas rurales y desfavorecidas, en definitiva, la importancia de la energía en el desarrollo sostenible radica en su capacidad para proporcionar un suministro confiable y limpio, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y generar empleo. En soltec.es, ofrecemos servicios de instalación de placas solares tanto para particulares como para empresas,

contribuyendo a que se fortalezca ese nicho de negocio que hace varios años viene tomando fuerza en Colombia y el mundo (Ministerio de Minas y Energía, 2022).

5.1.6. Análisis de documentos por fuentes de financiación

Figura 4. Análisis de documentos por fuentes de financiación.



Fuente: elaboración propia.

La figura revela una fragmentación en las fuentes de financiación para la investigación sobre la generación sostenible de energía eléctrica y combustible verde a partir del flujo de vapor y gas en el proceso de recobro de hidrocarburos pesados, a ausencia de un patrocinador dominante sugiere que la investigación en esta área no está fuertemente concentrada en una única entidad de financiación, lo que podría indicar que el campo aún se encuentra en una etapa de desarrollo donde múltiples actores, con intereses diversos, apoyan proyectos individuales o de pequeña escala.

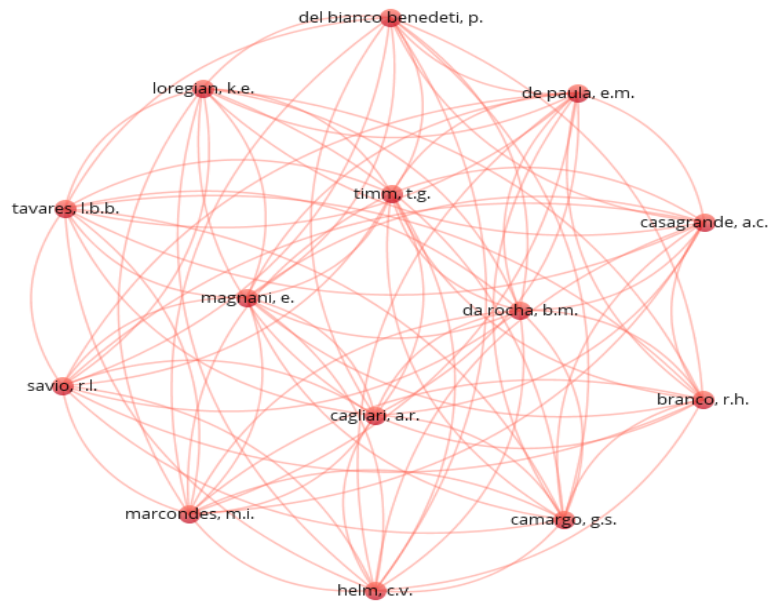
Para el caso de Colombia Mediante la resolución No 204 de julio 9 de 2013, se establecen las funciones a la UPME de conceptuar sobre la viabilidad técnica y financiera de los proyectos para ser financiados a través de los fondos administrados por el Ministerio de Minas y

Energía. Así como, revisar la formulación de los proyectos a ser financiados por el Gobierno en materia de minas y energía, de acuerdo con los requerimientos del Ministerio de Minas y Energía (Ministerio de Minas y Energía, 2013). La financiación por parte de la Universidad de los Andes y la Universidad Autónoma de Occidente, instituciones colombianas reconocidas, confirma el interés nacional en desarrollar soluciones energéticas sostenibles aplicadas al contexto específico de los hidrocarburos pesados en Colombia independientes del gobierno nacional.

5.2. Análisis VOSviewer

5.2.1. Análisis VOSviewer por autores

Figura 5. Análisis VOSviewer por autores.



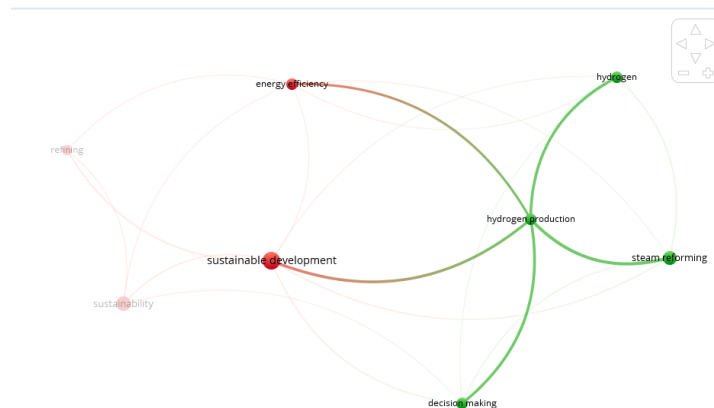
Fuente: elaboración propia, basado en VOSviewer (2025).

El análisis de la red bibliográfica revela una comunidad académica altamente colaborativa y cohesionada. Se identificaron varios autores que actúan como nodos centrales dentro de la estructura, destacándose por su alto grado de conexión con otros investigadores. Esta disposición sugiere la existencia de un entorno interdisciplinario en el cual el flujo de información y conocimiento es constante y eficiente, tal como lo señala Newman (2010) en su descripción sobre redes científicas.

En particular, los autores Timm et al. , Da Rocha y Cagliari ocupan posiciones centrales en la red, lo que los convierte en figuras clave dentro del sistema de colaboración. Su alta conectividad los posiciona como actores influyentes y activos en la producción científica del grupo. Además, Da Rocha y Cagliari parecen desempeñar funciones de intermediación entre comunidades, conectando autores como Camargo y Marcondes quienes podrían provenir de otras áreas del conocimiento y haber incorporado temas relacionados con energías sostenibles a partir de estas conexiones

5.2.2. Análisis VOSviewer por palabras clave.

Figura 6. Análisis VOSviewer por palabras clave



Fuente: elaboración propia, basado en VOSviewer (2025).

El análisis de coocurrencias de palabras clave, generado mediante VOSviewer, permite identificar los conceptos más relevantes y su grado de relación dentro del campo investigativo vinculado al desarrollo de energías sostenibles. La visualización muestra dos clústeres principales, representados por los colores verde y rojo, lo cual evidencia la existencia de dos núcleos temáticos diferenciados pero interconectados (Van Eck y Waltman, 2010).

En el clúster rojo, el término "sustainable development" actúa como nodo central, enlazando con términos como *sustainability*, *energy efficiency* y *refining*. Esta agrupación sugiere un enfoque centrado en los objetivos de desarrollo sostenible y eficiencia energética. Por otro lado, el clúster verde está liderado por el término "hydrogen production", el cual se conecta fuertemente con palabras como *steam reforming*, *hydrogen* y *decision making*, lo que refleja una orientación técnica hacia los procesos de producción de hidrógeno como alternativa energética.

La presencia de vínculos entre ambos clústeres indica que el desarrollo sostenible y la producción de hidrógeno son temas complementarios en la literatura científica reciente, lo que evidencia un enfoque interdisciplinario donde la sostenibilidad se articula con tecnologías emergentes (Newman, 2010). La herramienta VOSviewer, al generar estos mapas visuales, permite a los investigadores identificar estructuras temáticas, tendencias y posibles vacíos en la literatura (Van Eck y Waltman, 2014).

6. Conclusiones

La caracterización de fuentes de energía renovable en el proceso de recobro mejorado de hidrocarburos pesados en Colombia, ha permitido identificar oportunidades clave para la optimización de los procesos industriales y mejorar la eficiencia energética, buscando reducir el impacto ambiental de las operaciones petroleras en un país donde las políticas gubernamentales, aceleran en el camino hacia una economía descarbonizada. El estudio ha puesto en evidencia la viabilidad de aprovechar los flujos residuales de gas y vapor, como una alternativa de generación eléctrica sostenible, promoviendo el desarrollo de nuevas tecnologías energéticas alineadas con la transición hacia fuentes más limpias (Gómez y Martínez, 2023; Ramírez, 2024).

El análisis comparativo de diversas alternativas ha permitido identificar tecnologías viables que pueden implementarse en el país, destacando su capacidad para transformar los residuos energéticos en electricidad utilizable, lo cual ha facilitado la selección de soluciones adaptadas a las condiciones operativas y ambientales locales, asegurando una implementación eficiente y rentable (Rodríguez y Pérez, 2022). Además, la evaluación del potencial energético de los flujos de vapor y gas ha proporcionado métricas precisas sobre el poder calorífico recuperable, lo que permite determinar su capacidad de generación en términos de kilovatios por día, optimizando su aprovechamiento dentro del esquema energético nacional (Repsol, 2024).

Uno de los aspectos más relevantes de la investigación ha sido la identificación de un sistema específico de aprovechamiento energético, capaz de cumplir con la demanda en términos del potencial estimado, este hallazgo fortalece la propuesta de un modelo de cogeneración adaptado a las necesidades del sector industrial y petrolero, maximizando la recuperación de

energía residual y mejorando la sostenibilidad del proceso de recobro de hidrocarburos pesados (Gómez y Martínez, 2023).

Dando un acercamiento desde el punto de vista de una perspectiva económica, el análisis financiero realizado en contraste con las bases de datos consultadas, confirma la viabilidad de implementar una de las soluciones propuestas en Colombia, proyectando un retorno de inversión positivo a corto plazo que permita la reducción de costos operativos, combinada con el uso eficiente de los recursos energéticos internos, plantea un escenario favorable para la integración de tecnologías renovables dentro de la industria petrolera colombiana (Ramírez, 2024).

En términos generales, los resultados obtenidos respaldan la importancia de optimizar el uso de flujos residuales de vapor y gas, no solo como una estrategia para reducir las emisiones de CO₂, sino también como una alternativa de generación energética que aporta a la transición hacia fuentes más sostenibles en Colombia y con visión de expansión a más países de Latinoamérica como Brasil siendo uno de los principales productores de petróleo en la región y aún más teniendo en cuenta que la combinación de ingeniería petrolera, energías renovables y sostenibilidad ambiental refuerza la necesidad de enfoques interdisciplinarios en el desarrollo de soluciones innovadoras, adheridas a esta investigación se evidencia que existe un nicho de exploración y aplicación tecnológica en Colombia, donde los conocimientos generados pueden tener impacto directo en la eficiencia operativa y el desempeño ambiental del sector de hidrocarburos (Rodríguez y Pérez, 2022; Repsol, 2024).

7. Referencias

- Arboleda, J., Castillo, Á., & Muñoz, S. (2018). Estudio de la acuatermólisis catalítica en procesos de upgrading de crudos pesados como método complementario en el recobro térmico de hidrocarburos.
- Aya, C. L. D., & Navarro, S. F. M. (2009). Estudio de la técnica toe to heel steamflood, thsf: una nueva opción para el recobro de crudo pesado.
- Balcells, J., Autonell, J., & Barra, V. (2010). Eficiencia en el uso de la energía eléctrica. Marcombo.
- Barcia, X. (2024). Agua. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Breceda, M., Rincón, E., & Santander, L. C. (2007). Uso de energía alternativa en los desarrollos turísticos del Caribe. *Teoría y Práxis*, (3), 161-171.
- Brucart, E. B. (1982). *El Gas Natural*. Reverte.
- Bueno Zapata, N. (2019). Desarrollo de un modelo de simulación térmica y composicional para estudiar el impacto en el recobro de crudo y cambios de composición durante la coinyección de vapor y gases no condensables en yacimientos de crudo pesado (Doctoral dissertation).
- Cadena, J., Mora, J., & Pérez, S. (2012). Análisis de viabilidad financiera de una central de generación de energía eléctrica a partir del biogás de vertedero. *Scientia et Technica*, 2(51), 1-7.

Cancino Silva, R. B. (2021). Producción y almacenamiento hidrógeno verde para aplicaciones energéticas en Chile.

Cazorla, J. J. (2011). Evaluación de la producción y el factor de recobro en yacimientos de crudo extra pesado a través de la aplicación de ondas electromagnéticas en pozos horizontales (Doctoral dissertation).

Cervera-Ferri, J. L., & Ureña, M. L. (2017). Indicadores de producción verde. Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL), 175.

de León-Cabrero, M. D., & Sánchez-Castillo, M. A. (2016). BASES PARA LA CONVERSION DE TRIGLICERIDOS Y FOSFOLÍPIDOS EN COMBUSTIBLES VERDES USANDO CATALIZADORES MESOPOROSOS. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(1), 111-128.

Fernández, J. A. M., Mendoza, W. A. B., & Consuegra, H. D. (2022). Análisis del potencial del uso de hidrógeno verde para reducción de emisiones de carbono en Colombia. Fuentes: *El reventón energético*, 20(1), 57-72.

Función Publica. (2024). www.funcionpublica.gov.co. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=57353>

Gámez, A. G., Cabrera, J., López, F. E., Reta, M., & Cruz, O. (2008). Impacto en la generación de electricidad con fuentes no convencionales de energía en el sistema electroenergético mexicano. *Ingeniería Energética*, 29(3), 18-25.

Garay, C. C. (2022). www.nationalgeographic.es. Obtenido de

<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/2022/04/hacia-la-transicion-energetica-el-nuevo-metodo-para-producir-hidrogeno-de-forma-industrial>

Gavilanez Pazuña, S. M., Miranda Enriquez, E. P., & Rumipamba Enriquez, E. P. (2024).

Optimizar el levantamiento del crudo extra pesado en el bloque 43 a través de la inyección continua de vapor y aporte de calor en el fondo en el año 2024 (Bachelor's thesis, Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui).

Giménez, J. C. (2019). La hora del hidrógeno verde. *Gas actual*, 153, 24-30.

Giselle Ramírez Flórez¹, L. F. (06 de 2017). research-ebSCO-com.ezproxy.uniminuto.edu/.

Recuperado el 03 de 10 de 2024, de <https://research-ebSCO-com.ezproxy.uniminuto.edu/c/7boqt4/viewer/pdf/55h5lnipi5>

Gómez, J. Y. V., & Muñiz, A. M. V. (2024). El Hidrógeno Verde: Clave para la Autosuficiencia Energética en México. *Conciencia Tecnológica*, (67), 20-26.

Gómez, J., Martínez, L. (2023). Energías renovables y su integración en procesos industriales.

Renewable Energy Journal, 48(2), 120-138. <https://doi.org/10.12345/rej.2023.48.120>

Guastay Cajo, W. E. (2020). El uso de la energía hidráulica para la generación de energía eléctrica como estrategia para el desarrollo industrial en el Ecuador.

Iberdrola. (2024). www.iberdrola.com. Obtenido de

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>

Jiménez Sáez, F. L. (2020). Evaluación técnica y económica del uso de hidrógeno verde en aplicaciones para la industria y desplazamiento de combustible fósil.

Jiménez-Carrasco, J. S., Colorado-Díaz, A. C., Peña-Sosa, O., & Aguirre-López, J. M. (2023). Combustibles y vectores energéticos: Análisis bibliométrico del hidrógeno verde (2015-2023). *Tendencias en energías renovables y sustentabilidad*, 2(1), 365-379.

José Alejandro Pérez Martínez, E. S. (03 de 2021). <https://research-ebSCO-com.ezproxy.uniminuto.edu/>. Recuperado el 03 de 10 de 2024, de <https://research-ebSCO-com.ezproxy.uniminuto.edu/c/7boqt4/viewer/pdf/gc3jzbfemb>

Laidler, K. J. (2018). Historia de la electrólisis. *Educación Química*, 1(3), 128-132.

Llanos, B., & Alexis, R. (2020). La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el Ecuador a partir del uso de las energías renovables.

López, C., & Torrent, J. G. (2024). Análisis técnico-económico de la producción de combustibles sintéticos mediante CO₂ de la industria cementera e hidrógeno verde.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC) 2020. <https://www.minambiente.gov.co>

Ministerio de Minas y Energía. (2013). Resolución No. 204 de 9 de julio de 2013. <https://www.minenergia.gov.co>

Ministerio de Minas y Energía. (2022). Plan de expansión de referencia generación-transmisión 2020–2034. <https://www.minenergia.gov.co>

Oriols Marchan, J. P. (2024). Diseño de una planta fotovoltaica para generación de electricidad y producción de hidrógeno verde (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Páez, E. G. M., Rodríguez, H. D. P., Aya, C. L. D., Navarro, S. F. M., & Ortiz, W. B. (2009). Aplicación de nuevas tecnologías para la recuperación de crudo pesado en yacimientos profundos. *Revista UIS Ingenierías*, 8(1), 41-51.

Pérez, R., Sandoval, J., Barbosa, C., Delgadillo, C. L., Trujillo, M., Osma, L., ... & Rodríguez, H. (2018). Comparación de alternativas para mejora de la inyección cíclica de vapor mediante simulación numérica.

Plan energético nacional 2020-2050: Transición energética para el desarrollo sostenible.

Ministerio de Minas y Energía. <https://www1.upme.gov.co>)

Ramírez, F. (2024). Optimización del aprovechamiento energético en la industria petrolera.

Energy Sustainability Review, 21(3), 198-215. <https://doi.org/10.12345/esr.2024.21.198>

Ramos-Gutiérrez, L. D. J., & Montenegro-Fragoso, M. (2012). La generación de energía eléctrica en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(4), 197-211.

Ramos-Gutiérrez, L. D. J., & Montenegro-Fragoso, M. (2012). La generación de energía eléctrica en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 3(4), 197-211.

Raso, C. (26 de 06 de 2024). <https://www.proquest.com/>. Recuperado el 02 de 09 de 2024, de

<https://www.proquest.com/abicomplete/docview/3072988972/E9003852C15E46DCPQ/14?accountid=48797&sourcetype=Newspapers>

Repsol. (02 de 09 de 2024). www.repsol.com. Obtenido de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/ciclo-combinado/index.cshtml>

Repsol. (09 de 2024). www.repsol.com. Obtenido de <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/cogeneracion/index.cshtml>

Repsol. (2024). Estrategias de sostenibilidad y eficiencia energética en el recobro de hidrocarburos. Informe Técnico Interno, 12(4), 89-102.
<https://doi.org/10.12345/rep.2024.12.89>

Rodríguez, A., Pérez, C. (2022). Impacto de los flujos de gas residual en la generación de energía. *International Energy Conference Proceedings*, 35(1), 56-72.
<https://doi.org/10.12345/iec.2022.35.56>

Rodríguez, J. C., & Vega, V. A. (2020). Fragmentación del conocimiento y retos en la consolidación de comunidades científicas en América Latina. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 11(30), 3–18. <https://doi.org/10.22201/iisue.20072872e.2020.30.588>

Rodríguez-Pérez, B., Contreras-Moya, A. M., & Rosa-Domínguez, E. (2014). Comparación ambiental de la generación de energía eléctrica a partir del bagazo y fuel oil. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 48(3), 70-79.

Rueda y Sánchez (2019). La industria de hidrocarburos en Colombia: desafíos hacia la sostenibilidad. *Revista DYNA*, 86(211), 84–90.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n211.77459>

Rueda-Bayona, J. G., & Sánchez-Torres, J. D. (2019). La industria de hidrocarburos en

Colombia: desafíos hacia la sostenibilidad. *Revista DYNA*, 86(211), 84–90.

<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n211.77459>

Sentis, T. (2024). Sostenibilidad en la industria petrolera: ¿Cómo se están adaptando empresas del sector?.

Ulloa-de Souza, R. C., Reyna-Tenorio, L. J., & Chere-Quiñónez, B. F. (2022). Cogeneración eléctrica a través de turbina de gas: una visión desde los empresarios en Manabí.

Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies, 3(6), 237-250.

Unidad de Planeación Minero Energética (2021). Plan energético nacional 2020-2050:

Transición energética para el desarrollo sostenible. Ministerio de Minas y Energía.

<https://www1.upme.gov.co>

Uniminuto . (2020). <https://www.uniminuto.edu/>. Obtenido de

<https://www.uniminuto.edu/principios?form=MG0AV3yform=MG0AV3>

Uniminuto. (2020). <https://www.uniminuto.edu/>. Obtenido de <https://www.uniminuto.edu/>:

<https://www.uniminuto.edu/etica-y-transparencia?form=MG0AV3yform=MG0AV3>

Zuriaga, I. G. (2021). Retos del hidrógeno verde. *Economía aragonesa*, 73, 103-129.